

Diego Evan Gracioso

**ICNOFÓSSEIS DE INVERTEBRADOS DA FORMAÇÃO
PIMENTEIRA (DEVONIANO) NA BORDA LESTE DA
BACIA DO PARNAÍBA**

Trabalho Final de Curso

(Geologia)

UFRJ

Rio de Janeiro

2011



Diego Evan Gracioso

**ICNOFÓSSEIS DE INVERTEBRADOS DA FORMAÇÃO
PIMENTEIRA (DEVONIANO) NA BORDA LESTE DA
BACIA DO PARNAÍBA**

Trabalho de Final de Graduação em Geologia
do Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Ismar de Souza Carvalho

Rio de Janeiro

Julho de 2011

GRACIOSO, Diego Evan

Iconofósseis de invertebrados da Formação Pimenteira (Devoniano) na borda leste da Bacia do Parnaíba / Diego Evan Gracioso - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2011.

xix, 49 p.

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2011.

Orientador: Ismar de Souza Carvalho

1. Geologia. 2. Paleontologia e Estratigrafia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Ismar de Souza Carvalho. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Diego Evan Gracioso

Iconofósseis de invertebrados da Formação Pimenteira (Devoniano) na borda leste da
Bacia do Parnaíba

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Ismar de Souza Carvalho

Aprovada em: 18 de julho de 2011

Por:

Orientador: Dr. Ismar de Souza Carvalho (UFRJ)

Dr. Leonardo Fonseca Borghi de Almeida (UFRJ)

Dr. Rafael Costa da Silva (CPRM)

UFRJ
Rio de Janeiro
2011

“Ah, o sorriso que tenho nos lábios é um sorriso geológico — o sorriso de quem sabe, olha, vê e compreende. Este barranco é para mim um livro aberto, uma página da história da terra na qual leio mil coisas interessantíssimas.”

(Monteiro Lobato)

Dedico este trabalho à minha família, aos meus amigos e à Mariana, que foram sempre tão compreensivos com minhas ausências e afetivos nos meus regressos.

Agradecimentos

Ao Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro pela infraestrutura de pesquisa oferecida para o estudo, durante as etapas de campo e de laboratório.

Ao meu orientador Ismar de Souza Carvalho, por toda a compreensão, atenção e valiosíssimos conselhos, que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Resumo

GRACIOSO, Diego Evan. **Ícnofósseis de invertebrados da Formação Pimenteira (Devoniano) na borda leste da Bacia do Parnaíba**. 2011. xix, 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Formação Pimenteira é uma unidade litoestratigráfica pertencente ao Grupo Canindé da Bacia do Parnaíba, com idade Mesodevoniana – Eocarbonífera. Essa unidade é tipicamente conhecida pela sua rica icnofauna. O presente estudo tem como objetivo identificar icnotaxonomicamente os ícnofósseis de invertebrados coletados em afloramentos da borda Leste da bacia. Através da descrição dos exemplares estudados e comparação com a bibliografia específica sobre o tema foi possível identificar 15 diferentes icnotáxons (*Asteriacites lumbricalis*, *Bergaueria hemispherica*, *Bifungites fezzanensis*, *Cruziana problematica*, *Cruziana* isp., *Helminthopsis* isp., *Monomorphichnus* isp., *?Nereites* isp., *Palaeophycus tubularis*, *Phycosiphon incertum*, *Rhizocorallium jenense*, *Rusophycus dispar*, *Rusophycus* isp., *Thalassinoides horizontalis*, *?Neoskolithos picosensis*) que constituem três diferentes associações de ícnofósseis dispostas em duas subdivisões da icnofácies Cruziana, arquetípica e empobrecida. Através da integração desses resultados, com os dados sedimentológicos provenientes dos afloramentos, foi possível realizar interpretações sobre as condições paleoecológicas e paleoambientais vigente durante a deposição dessas rochas, como comunidades de organismos detritívoros e suspensívoros habitando um ambiente marinho raso eventualmente submetido à tempestades.

Palavras-chave: Formação Pimenteira, Ícnofósseis, Bacia do Parnaíba

Abstract

GRACIOSO, Diego Evan. **Invertebrates trace fossils from the Pimenteira (Devonian) Formation in the Eastern border of the Parnaíba Basin.** 2011. xix, 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Pimenteira Formation is a lithostratigraphic unit that is part of the Canindé Group of the Parnaíba Basin, deposited during the Middle Devonian – Early Carboniferous. This unit is typically known by its rich ichnofauna. The purpose of this study is to identify ichnotaxonomically the invertebrate trace fossils collected in outcrops located in the basin's Eastern Border. Through the description of the specimens studied and compared with the literature it was possible to identify 15 different ichnotaxa (*Asteriacites lumbricalis*, *Bergaueria hemispherica*, *Bifungites fezzanensis*, *Cruziana problematica*, *Cruziana* isp., *Helminthopsis* isp., *Monomorphichnus* isp., *?Nereites* isp., *Palaeophycus tubularis*, *Phycosiphon incertum*, *Rhizocorallium jenense*, *Rusophycus dispar*, *Rusophycus* isp., *Thalassinoides horizontalis*, *?Neoskolithos picosensis*) that compose three different trace fossils associations arranged in two subdivisions of the *Cruziana* ichnofacies: the archetypal and the impoverished. Through the integration of these data and the sedimentological analysis from the outcrops was possible to interpret the paleoecological and paleoenvironmental conditions during the sedimentation, recognizing suspension and deposit feeders communities established in a shallow marine environment eventually submitted to storms.

Keywords: Pimenteira Formation, Trace Fossils, Parnaíba Basin

Lista de Figuras

- Figura 1** – Mapa de localização da Bacia do Parnaíba com destaque para a área de afloramentos da Formação Pimenteira e a área de estudo.....p.5
- Figura 2** – Limites geológicos da Bacia do Parnaíba (Santos & Carvalho, 2004).....p. 7
- Figura 3** – Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba com detalhe para o intervalo estratigráfico da Formação Pimenteira (Modificado de Vaz *et al.*, 2007).....p.9
- Figura 4** – Reconstituição paleobiológica do Mesodevoniano da Bacia do Parnaíba (Santos & Carvalho, 2004).....p.11
- Figura 5** – Afloramento da Formação Pimenteira no município de São João do Piauí, às margens da BR-020, na altura do quilômetro 54.....p.14
- Figura 6** – Perfil estratigráfico de afloramento da Formação Pimenteira no município de São João do Piauí.....p.15
- Figura 7** – Preservação dos icnofósseis em condições de soterramento episódico por eventos de tempestades, turbiditos e de maré (Modificado de Savdra *et al.*, 2007).....p.17
- Figura 8** – **A:** UFRJ-DG 552-Ic, *Asteriacites lumbricalis*; **B:** UFRJ-DG 249-Ic, *Bergaueria hemispherica*; **C:** UFRJ-DG 250-Ic, *Bergaueria hemispherica*; **D:** UFRJ-DG 602-Ic, *Bifungites fezzanensis*; **E:** UFRJ-DG 522-Ic, *B. fezzanensis*; **F:** UFRJ-DG 602-Ic, *B. fezzanensis*.....p.21
- Figura 9** – **A:** UFRJ-DG 503-Ic, *Cruziana* isp.; **B:** UFRJ-DG 612-Ic, *Cruziana problematica*; **C:** UFRJ-DG 527-Ic, *Helminthopsis* isp.; **D:** UFRJ-DG 523-Ic, *Monomorphichnus* isp.; **E:** UFRJ-DG 506-Ic, *?Nereites* isp.; **F:** UFRJ-DG 307-Ic, *Rhizocorallium jenense*.....p. 26
- Figura 10** – **A:** UFRJ-DG 237-Ic, *Palaeophycus tubularis*; **B:** UFRJ-DG 509-Ic, *Palaeophycus tubularis*; **C:** UFRJ-DG 511-Ic, *Palaeophycus tubularis*; **D:** UFRJ-DG 308-Ic, *Phycosiphon incertum*; **E:** UFRJ-DG 319-Ic, *Phycosiphon incertum*; **F:** UFRJ-DG 473-Ic, *Phycosiphon incertum*.....p.30
- Figura 11** – **A:** UFRJ-DG 483-Ic, *Rusophycus dispar*; **B:** UFRJ-DG 485-Ic, *Rusophycus dispar*; **C:** UFRJ-DG 487-Ic, *Rusophycus dispar*; **D:** UFRJ-DG 551-Ic, *Rusophycus dispar*; **E:** UFRJ-DG 555-Ic, *Rusophycus dispar*; **F:** UFRJ-DG 619-Ic, *Rusophycus dispar*.....p.32
- Figura 12** – **A:** UFRJ-DG 526-Ic, *Rusophycus* isp.; **B:** UFRJ-DG 567-Ic, *Thalassinoides horizontalis*; **C:** UFRJ-DG 513-Ic, *Thalassinoides horizontalis*; **D:** UFRJ-DG 499-Ic, *Thalassinoides horizontalis* **E:** UFRJ-DG 601-Ic, Escavações indefinidas, **F:** UFRJ-DG 553-Ic, Escavações indefinidasp.35
- Figura 13** – **A:** UFRJ-DG 474-Ic, *?Neoskolitos picosensis*; **B:** UFRJ-DG 568-Ic, *?Neoskolitos picosensis*; **C:** UFRJ-DG 568-Ic, *?Neoskolitos picosensis*.....p.37

Figura 14 – Diagrama ilustrativo da icnofácies Cruziana e suas expressões distal, arquetípica e proximal (modificado de MacEachern *et al.*, 2007).....p.40

Lista de Quadros

Quadro 1 – Relação dos afloramentos estudados com suas respectivas localizações e coordenadas geográficas.....p.4

Quadro 2 – Tabela de fácies observadas nos afloramentos visitados.....p.13

Quadro 3 – Relação dos icnotáxons encontrados, exemplares correspondentes e afloramentos de onde os mesmos foram coletados.....p.45

Sumário

| | |
|--|-------|
| Agradecimentos..... | viii |
| Resumo..... | ix |
| <i>Abstract</i> | x |
| Lista de figuras..... | xvi |
| Lista de quadro..... | xviii |
| INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 MATERIAL E MÉTODO..... | 3 |
| 3 CONTEXTO GEOLÓGICO..... | 6 |
| 3.1 Bacia do Parnaíba..... | 6 |
| 3.2 Formação Pimenteira..... | 8 |
| 4 PALEONTOLOGIA..... | 10 |
| 5 RESULTADOS..... | 12 |
| 5.1 Afloramentos..... | 12 |
| 5.2 Tafonomia..... | 16 |
| 5.3 Icnologia sistemática..... | 18 |
| 6 DISCUSSÕES..... | 38 |
| 6.1 Associações de icnofósseis..... | 38 |
| 6.1 Icnofácies..... | 39 |
| 7 CONCLUSÕES..... | 42 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 44 |
| ANEXO I: RELAÇÃO DE EXEMPLARES UTILIZADOS..... | 48 |

1 INTRODUÇÃO

Os estudos sobre os icnofósseis de invertebrados do Devoniano da Bacia do Parnaíba iniciaram-se nos anos de 1960 com os trabalhos pioneiros de Wilhelm Kegel que descreveu icnofósseis produzidos por trilobitas (Kegel, 1961), além de icnofósseis encontrados na borda leste da bacia, em duas localidades, uma delas entre os municípios de Picos e Jenipapo e a outra entre os municípios de São João do Piauí e São Raimundo Nonato (Kegel, 1966). Os estudos com os icnofósseis foram retomados nos anos de 1980 com os trabalhos de Ferreira & Fernandes (1983) e Muniz (1988) que descreveram novos icnofósseis da Formação Pimenteira no estado de Goiás e Piauí respectivamente. Posteriormente diversos trabalhos no início dos anos 2000 ampliaram os estudos dos icnofósseis já conhecidos e descreveram novas icnoespécies (Agostinho *et al.*, 2004; Corrêa *et al.*, 2004; Agostinho, 2005). O trabalho realizado por Fernandes *et al.* (2002) contribuiu de forma substancial para o agrupamento e a organização do conhecimento acerca dos icnofósseis de todo o Brasil e por conseguinte da Formação Pimenteira, mostrando que diversas icnoespécies já haviam sido descritas para esta unidade (*Arenicolites* isp., *Asteriacites stelliforme*, *Asteriacites* isp., *Bifungites piauienses*, *Bifungites* isp., *Cruziana* isp., *Diplichnites* isp., *Diplocraterion* isp., *Merostomichnites piauienses*, *Neoskolithos picosensis*, *Neonereites* isp., *Nereites* isp., *Palaeohelminthoidea* isp., *Phycosiphon* isp., *Palaeophycus* isp., *Planolites beverleyensis*, *Rusophycus* isp., *Scolicia* isp., *Spirophyton* isp., *Zoophycos* isp.). Young *et al.* (2002) baseados em testemunhos de sondagem acrescentaram os icnogêneros *Asterosoma* isp., *Chondrites* isp., *Cylindrichnus* isp., *Helminthopsis* isp., *Isopodichnus* isp., *Macaronichnus* isp., *Rhizocorallium* isp., *Rosselia* isp., *Skolithos* isp., *Subphyllocorda* isp. e *Teichichnus* isp. Também através do estudo dos icnofósseis em testemunhos de sondagem, Young (2006) identificou associações de icnofósseis correspondentes às icnofácies “Cruziana proximal”, “Cruziana” e “Zoophycos”. Por fim,

Agostinho *et al.* (2004) e Agostinho (2005) mostraram a ocorrência das icnoespécies *Bifungites munizi*, *Bifungites piauiensis*, *Lockeia* isp., *Lophoctenium* isp., *Palaeophycus tubularis*, *Phycosiphon incertum*, *Protopaleodictyon* aff. *P. spinata* e *Skolithos linearis*.

O conjunto de publicações reflete a grande diversidade de icnofósseis encontrados na Formação Pimenteira e a possibilidade de uma análise cada vez mais detalhada acerca das icnocenoses identificadas. Os icnofósseis de invertebrados atualmente constituem-se como valiosas ferramentas em estudos paleontológicos e estratigráficos. A grande diversidade de icnofósseis presente nas rochas da Formação Pimenteiras representa uma oportunidade de estudos dessa natureza, embora a natureza dos dados seja um fator limitante nos estudos de icnofósseis. Enquanto as amostras provenientes de afloramentos sejam comumente preservações epiestratais, as análises de testemunhos privilegiam os icnofósseis endoestratais.

Dessa forma, os dados icnotaxonômicos produzidos no presente trabalho contribuem para a ampliação do conhecimento a respeito dos icnofósseis de invertebrados na região.

O objetivo desse trabalho de conclusão de curso é identificar icnotaxonomicamente os icnofósseis de invertebrados da Formação Pimenteira na borda leste da Bacia do Parnaíba e identificar as informações paleoambientais e paleoecológicas que possam ser obtidas através do estudo destes icnofósseis.

2 MATERIAL E MÉTODO

O material utilizado neste estudo consiste em 71 amostras (Anexo 1) coletadas em diversos trabalhos de campo realizados na borda leste da Bacia do Parnaíba em afloramentos da Formação Pimenteira na região dos municípios de Coronel José Dias e São João do Piauí, no Estado do Piauí (Figura 1) às margens da rodovia BR-020 entre os quilômetros 112 e 154. Foram visitados três afloramentos diferentes que são descritos neste trabalho como “Ponto 1”, “Ponto 2” e “Ponto 3” (Quadro 1). Todas as amostras analisadas possuem diversos tipos de icnofósseis produzidos por invertebrados e se encontram depositadas na coleção de paleontologia do Departamento de Geologia – Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro na divisão “Ic-Icnofósseis de Invertebrados”.

O estudo consistiu primeiramente na coleta de muitos dos exemplares em trabalhos de campo, onde foram também confeccionados perfis sedimentológicos esquemáticos dos afloramentos em escala 1:40. Posteriormente, os exemplares foram descritos detalhadamente e todos os caracteres morfológicos que pudessem ser distintivos para a identificação taxonômica foram medidos com o uso de um paquímetro mecânico da marca Mitutoyo, série 530. Foram tiradas fotografias dos exemplares com a câmera digital da marca Sony, modelo Cybershot DSC-F707 e lente Carl Zeiss Vario-Sonnar. Durante as fotografias a iluminação do ambiente foi sempre observada, de modo que os caracteres de cada exemplar fossem devidamente ressaltados.

Por fim, todos os caracteres identificados foram devidamente comparados com exemplares descritos na literatura, com o intuito de se determinar icnotaxonomicamente todas as formas encontradas, pelo menos a nível icnogenérico e sempre que possível a nível icnoespecífico.

O conceito de “associações” utilizado neste trabalho foi definido por Gaillard & Racheboeuf (2006) como sendo um conjunto de icnofósseis que não foram formados simultaneamente e não se encontram necessariamente na mesma camada. Esse conjunto apenas representa um grupo específico de rochas que provavelmente corresponde às condições ambientais relativamente estáveis durante um período de tempo. Esse conceito é diferente do conceito clássico de “icnocenoses”, pois de acordo com Bromley (1996) uma icnocenose necessariamente implica na colonização simultânea do substrato pelos produtores das estruturas.

O conceito de “icnofácies” aqui adotado é o conceito de grupos de icnofósseis que refletem a atividade de comunidades com comportamentos fortemente influenciados por fatores ambientais como definido por MacEachern *et al.* (2007). Quando ocorrem mudanças nesses fatores, como variação da lâmina d’água, oxigenação, taxas de sedimentação e umidade do substrato dentre outros, os organismos exibem uma resposta predizível e passam a outros tipos de comportamentos diferenciáveis dos comportamentos anteriores. Dessa forma, podemos distinguir diferentes conjuntos de icnofósseis submetidos às diferentes condições ambientais. No contexto desse estudo, a icnofácies Cruziana foi subdividida em “arquetípica” e “empobrecida, segundo as descrições de MacEachern *et al.* (2005).

| Afloramento | Localização | Coordenadas |
|-------------|---------------------------------------|--|
| Ponto 1 | Município de Coronel José Dias, Piauí | (8° 41' 6,4" / 42° 23' 45,8"), (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") e (8° 39' 53" / 42° 22' 2,4") |
| Ponto 2 | Município de São João do Piauí, Piauí | (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| Ponto 3 | Município de São João do Piauí, Piauí | (8° 20' 16,6" / 42° 13' 36,5") |

Quadro 1 – Relação dos afloramentos estudados com suas respectivas localizações e coordenadas geográficas.

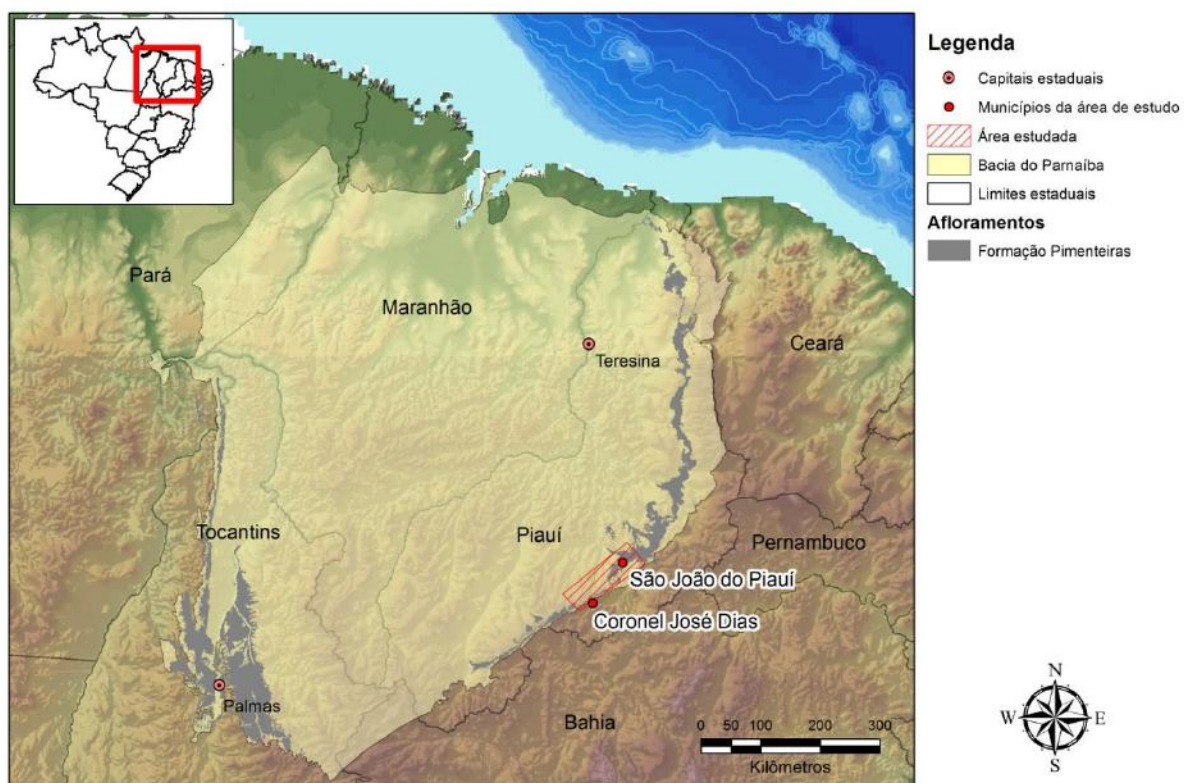


Figura 1 – Mapa de localização da Bacia do Parnaíba com destaque para a área de afloramentos da Formação Pimenteiras e a área de estudo.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 Bacia do Parnaíba

A Bacia do Parnaíba possui uma área de cerca de 600.000 km² e se distribui pelos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e pequenas partes dos estados do Ceará e Pará. De acordo com Vaz *et al.* (2007), sua espessura total pode atingir até 3.500 metros no depocentro. Seus limites com o embasamento constituem-se ao norte com o Cráton do São Luís, à oeste com o Cráton do Amazonas, a faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia e o Maciço de Goiás, à sul com a faixa de dobramentos Brasília e à leste com o Cráton do São Francisco e o sistema de dobramentos Nordeste. As principais feições estruturais da bacia são a norte o Arco de Ferrer-Urbano que a limita com as bacias de São Luís e Barreirinhas; o Arco do Tocantins, que se localiza a noroeste e constitui-se como o limite com as bacias de Marajó e o Arco de São Francisco, situado a sul e que se constitui como o limite com a Bacia Sanfranciscana (Figura 2).

De acordo com Almeida & Carneiro (2004) a Bacia do Parnaíba teria se desenvolvido como uma grande sinéclise durante o estágio de estabilização da Plataforma Sul-americana, a partir do Siluriano. No entanto, a origem da bacia provavelmente teve início com a subsidência termomecânica de grábens desenvolvidos no estágio de transição da plataforma, durante o Cambro-Ordoviciano. Silva *et al.* (2003) reconheceram alguns desses grábens iniciais como correlacionáveis aos riftes de Jaibaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São Julião e São Raimundo Nonato.

Quanto à sua classificação, a bacia foi definida como intracratônica de interior remoto por Almeida & Carneiro (2004) e do tipo IF/IS segundo a classificação de Kingston *et al.* (1983) por Silva *et al.* (2003).

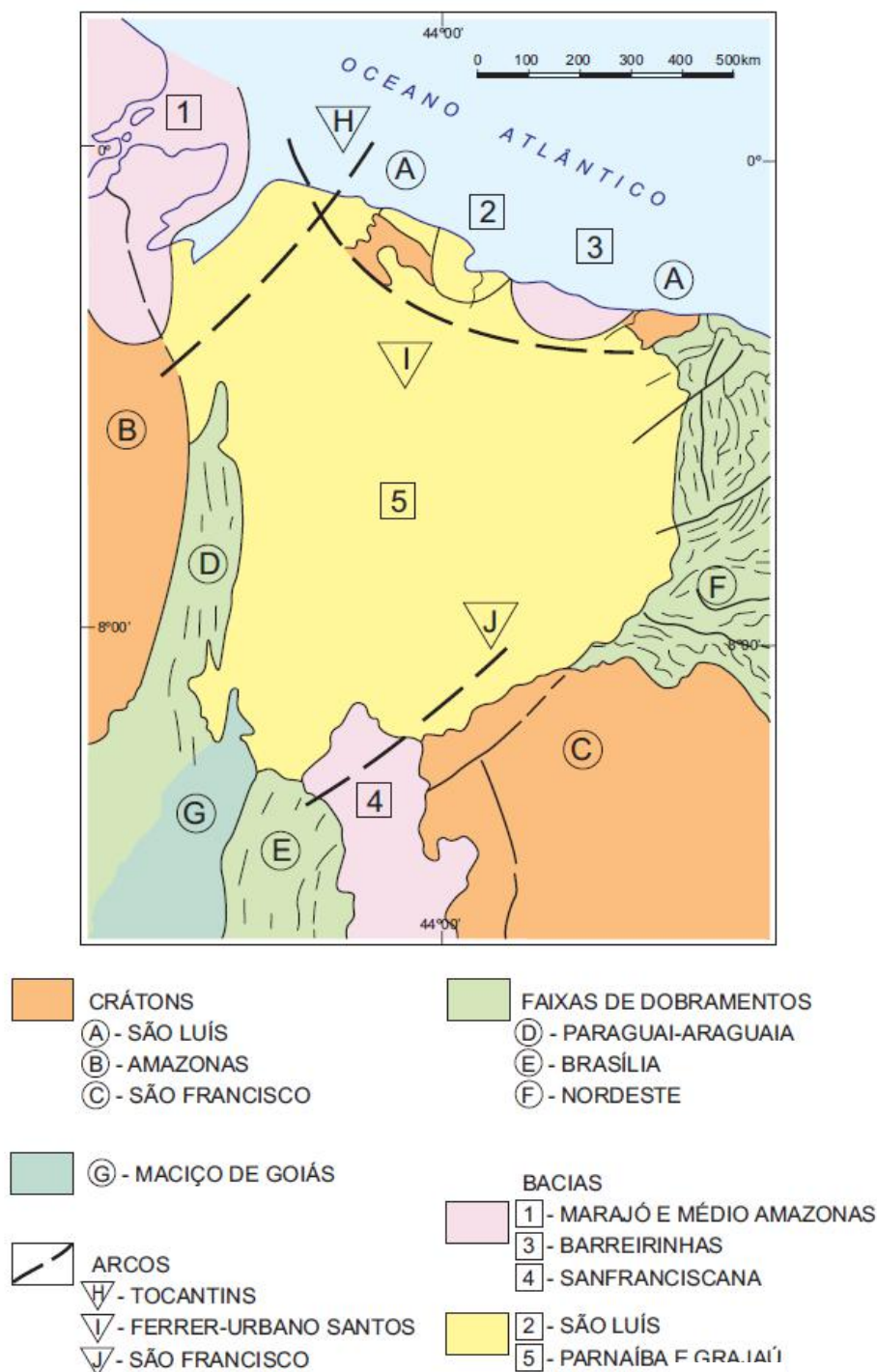


Figura 2 – Limites geológicos da Bacia do Parnaíba (Santos & Carvalho, 2004).

Vaz *et al.* (2007) dividem o registro sedimentar da bacia em cinco superseqüências: Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífera-Eotriássica, Jurássica e Cretácea. Essa organização é muito semelhante à proposta por Góes & Feijó (1994), com ajustes apenas

no posicionamento cronoestratigráfico dos limites das sequências. Young (2006) argumenta que apenas os sedimentos de idade paleozoica representam a entidade geotectônica denominada “Bacia do Parnaíba”, pois os sedimentos pós-Grupo Balsas estariam associados à ruptura do Gondwana. Sendo assim, a deposição da Bacia do Parnaíba seria caracterizada pelos grupos Serra Grande, Canindé e Balsas.

3.2 Formação Pimenteira

A Formação Pimenteira, alvo deste estudo foi definida formalmente por Carozzi *et al.* (1975) baseados em furos de sondagem. Segundo Vaz *et al.* (2007) a Formação Pimenteira está inserida no Grupo Canindé, sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera (Figura 3) e consiste principalmente de folhelhos cinza-esverdeados a pretos bioturbados, com intercalações de siltitos e arenitos. Os folhelhos são ricos em matéria orgânica, radioativos e representam a mais importante ingressão marinha na bacia.

Tradicionalmente os contatos da Formação Pimenteira com as unidades subjacente (Formação Itaim) e sobrejacente (Formação Cabeças) são descritos como concordantes e gradacionais (Santos & Carvalho, 2004). No entanto alguns autores apontaram a ocorrência de contatos erosivos localizados (Young, 2006).

Graham *et al.* (2008), com base em quitinozoários, definiram um intervalo temporal para deposição da Formação Pimenteira do Eifeliano superior ao Frasniano inferior para a Formação Pimenteira *lato sensu*, e um intervalo do mesoeoifeliano ao mesogivetiano para a Formação Pimenteira na porção leste da bacia.

O ambiente de sedimentação da Formação Pimenteira foi definido por Vaz *et al.* (2007) como marinho plataformal raso, dominado por tempestades. Borghi & Young (2003) interpretaram depósitos de tsunami para rochas dessa unidade aflorantes na região de Picos, Piauí.

| GEOCRONOL. | CRONO-/LITOESTRATIGRAFIA | | Seqüências | |
|-------------|--------------------------|------------|-------------------------------|----------|
| Cretáceo | Fm. Itapecuru | Fm. Codó | Cretácea | |
| | Fm. Corda | Fm. Grajaú | | Fm. Codó |
| | Fm. Sardinha | | | |
| Jurássico | Fm. Pastos Bons | | Jurássica | |
| | Fm. Mosquito | | | |
| Triássico | Fm. Sambaíba | | Neocarbonífera - Eotriássica | |
| | Fm. Motuca | | | |
| Permiano | Fm. Pedra de Fogo | | | |
| Carbonífero | Fm. Piauí | | | |
| | Fm. Poti | | | |
| | Fm. Longá | | | |
| Devoniano | Fm. Cabeças | | Mesodevoniana - Eocarbonífera | |
| | Fm. Pimenteira | | | |
| Siluriano | Fm. Itaim | | Gr. Serra Grande | |
| | Fm. Jaicós | | | |
| | Fm. Tianguá | Fm. Ipu | | |

Figura 3 – Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba com detalhe para o intervalo estratigráfico da Formação Pimenteira (modificado de Vaz *et al.*, 2007)

4 PALEONTOLOGIA

De acordo com Santos & Carvalho (2004) as assembleias fossilíferas encontradas na Formação Pimenteira, na borda leste da bacia são compostas por trilobitas, ostracodes, braquiópodos, bivalvíos, gastrópodos, conulariídeos, tentaculídeos, hiolitídeos, escolecodontes, peixes e restos vegetais. Uma das associações apresenta braquiópodes inarticulados como *Orbiculoidea* sp. e terebratulídeos como *Cranaena* sp., "*Paranaia*" sp., *Derbyina smithi*. e *Tropidoleptus carinatus*, trilobitas como o homalonotídeo *Burmeisteria* e o calmonídeo *Metacryphaeus kegei*, além dos moluscos *Nuculites*, *Bucanella*, e *Hyolithes* e o *incertae sedis Tentaculites*.

Alguns componentes dessa assembleia possuem relações com a fauna Malvinocáfrica, atestada pela comparação do material com fósseis da Bacia do Paraná, nas camadas Bokkeveld na África do Sul, folhelho de Accra em Gana, formações Belén, Icla e Gamoneda, na Bolívia e nas Ilhas Falkland. Os fósseis da Bacia do Parnaíba possuem afinidade também com a Província Americana Oriental, que se situava entre latitudes baixas a médias, com águas mornas a temperadas no leste da atual América do Norte (Santos & Carvalho, 2004).

Santos & Carvalho (2004) argumentaram que essas assembleias podem ser tafonomicamente caracterizadas como conjuntos de elementos misturados e desarticulados, mas com ornamentação, o que demonstra acumulação após transporte e rápido soterramento, onde o principal agente de transporte são os fluxos de correntes de tempestades.

Paleoecologicamente, as faunas do Neoeifeliano-Eogivetiano seriam, segundo Santos & Carvalho (2004) compostas por assembleias de invertebrados e raros vertebrados que habitavam uma plataforma marinha rasa submetida a tempestades (Figura 4).

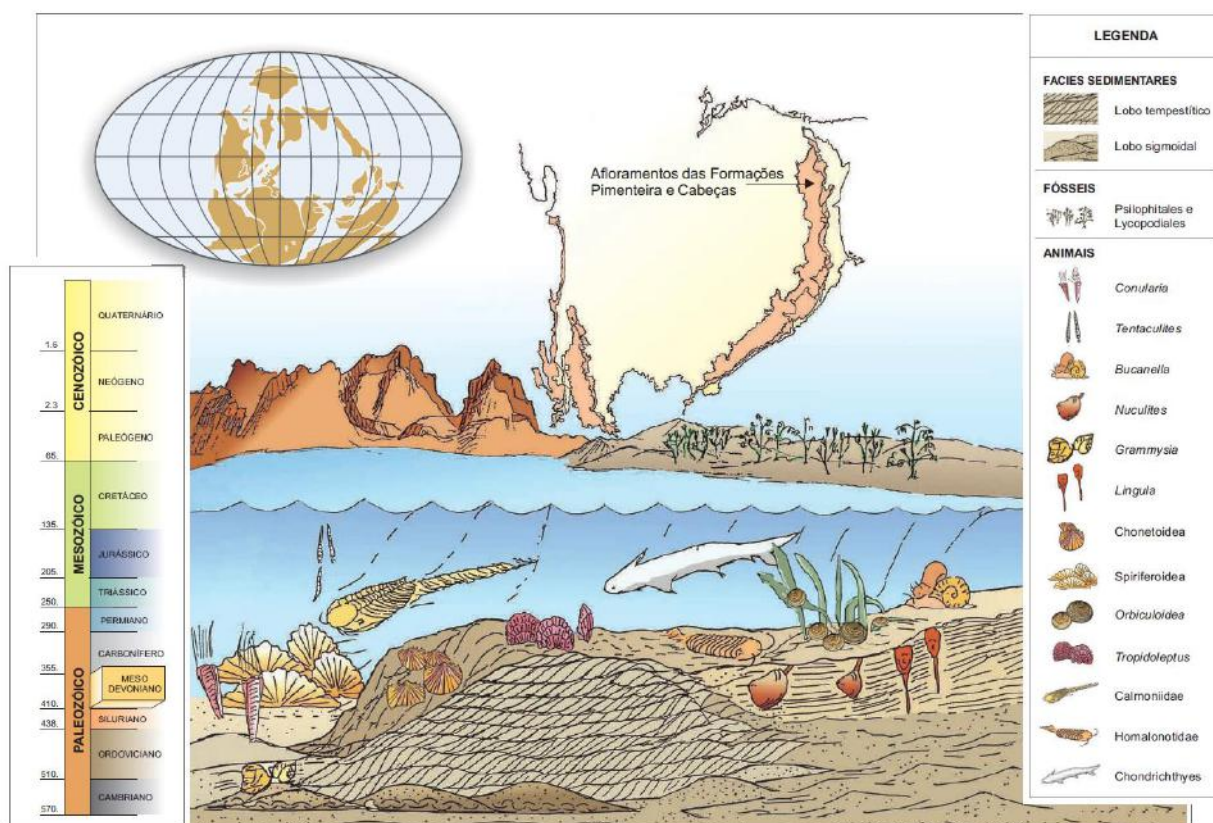


Figura 4 – Reconstituição paleobiológica do Mesodevônico da Bacia do Parnaíba (Santos & Carvalho, 2004).

5 RESULTADOS

5.1 Afloramentos

Os afloramentos visitados constituem-se como cortes de estradas às margens da rodovia BR-020, com exposições de rochas da ordem de algumas dezenas de metros de comprimento cerca de 10 metros de altura (Figura 5). De modo geral os afloramentos apresentam pouca variação litofaciológica (Figura 6), com intercalações de arenitos e folhelhos.

Foram identificadas duas litofácies nos afloramentos visitados:

A fácies **Ah** ocorre geralmente como camadas isoladas com continuidade lateral de alguns metros. É caracterizada por arenitos muito finos a finos, com estratificações cruzadas do tipo *hummocky*. Possuem coloração amarelada a laranja e geralmente constituem-se como corpos ressaltados nos afloramentos devidos à resistência ao intemperismo. É interpretada como depositada pela ação de correntes oscilatórias de alta energia em condições de tempestades.

A fácies **F1h** constitui-se por folhelhos roxos a creme, como marcante fissilidade. O ambiente de sedimentação é interpretado como marinho raso, devido aos fragmentos de braquiópodes não identificados e fragmentos de vegetais com eixos simples e dicotômicos identificados por Machado & Vasconcellos (2010) como pertencentes ao gênero *Tarrantia* encontrados em alguns dos afloramentos. Na maior parte dos afloramentos as camadas de folhelhos encontram-se fortemente alteradas pelo intemperismo, com uma coloração creme e pouca preservação das feições originais.

| Código | Diagnose | Interpretação |
|------------|---|--|
| Ah | Arenito fino a médio com estratificações cruzadas do tipo <i>hummocky</i> | Ação de correntes oscilatórias de alta energia |
| Flh | Folhelho roxo ou preto com fragmentos de vegetais | Decantação de finos |

Quadro 2 – Tabela de fácies observadas nos afloramentos visitados.

Os afloramentos visitados caracterizam-se por apresentar camadas lenticulares compostas pela fácies **Ah** e extensas camadas tabulares da fácies **Fh**. A interpretação para o ambiente de sedimentação desses depósitos é de uma sedimentação de tempo bom com deposição de finos por decantação em ambiente marinho raso, eventualmente submetido a eventos de tempestade que ocasionam a deposição de corpos lenticulares de areia por correntes oscilatórias.

Pode-se observar também que os afloramentos apresentam um aumento substancial no conteúdo de arenitos de SW para NE. Tendo em vista que as camadas não possuem mergulho regional expressivo e existe um aumento na cota altimétrica em direção ao Norte, é possível admitir que o Ponto 3 da Figura 6 se encontra em posição estratigráfica superior ao Ponto 2, e o mesmo para o Ponto 1. É possível observar um aumento na quantidade e espessura dos pacotes de arenitos do Ponto 1 para o Ponto 3. Essa mudança faciológica pode representar um raseamento do ambiente deposicional causado por um evento regressivo.



Figura 5 – Afloramento da Formação Pimenteira no município de São João do Piauí, às margens da BR-020, na altura do quilômetro 54.

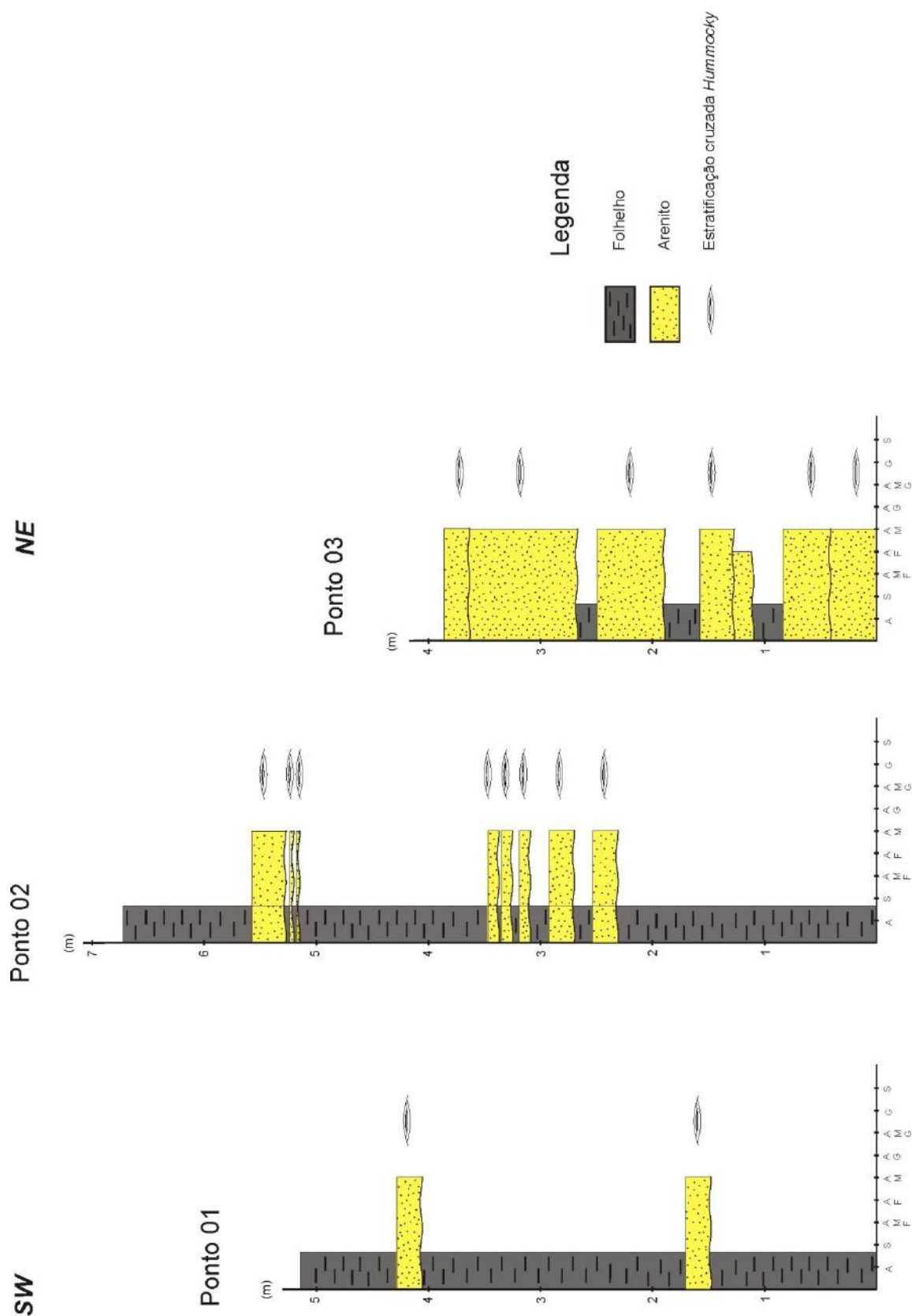


Figura 6 – Perfis estratigráficos dos afloramentos da Formação Pimenteira nos municípios de Coronel José Dias e São João do Piauí, às margens da BR-020.

5.2 Tafonomia

A preservação de icnofósseis em ambientes submetidos a eventos de rápida mudança nas condições de sedimentação, como tempestades e fluxos de turbidez pode ocorrer de maneira bastante peculiar e diferente de condições normais de sedimentação. Nestes ambientes a preservação dos icnofósseis está relacionada, principalmente, a camadas produzidas por eventos específicos. Desta forma, as condições de tafonomia constituem-se como ferramentas fundamentais durante a análise das icnocenoses encontradas. De acordo com Savdra (2007), os icnofósseis podem ser classificados como traços pré-deposicionais quando preservados em uma camada que foi depositada posteriormente a sua formação. Eles podem ser identificados como estruturas em relevo cheio nos sedimentos lamosos ou como hiporrelevo convexo na base de camadas relacionadas a fluxos episódicos (Figura 6). A deposição episódica possui ainda dois efeitos importantes sobre a preservação de icnofósseis: as camadas depositadas podem ser espessas o suficiente para proteger os traços pré-deposicionais da sobreposição por bioturbações posteriores, e a preservação de estruturas com poucos caracteres diagnósticos, dificultando assim a identificação das mesmas.

No caso da Formação Pimenteira a preservação preferencial de icnofósseis produzidos na base ou no topo dos arenitos formados por eventos de tempestades, aliada ao alto grau de intemperismo dos afloramentos, faz com que a análise das icnocenoses identificadas seja tendenciosa devido à preservação seletiva das estruturas, com predominância de estruturas pré-deposicionais.

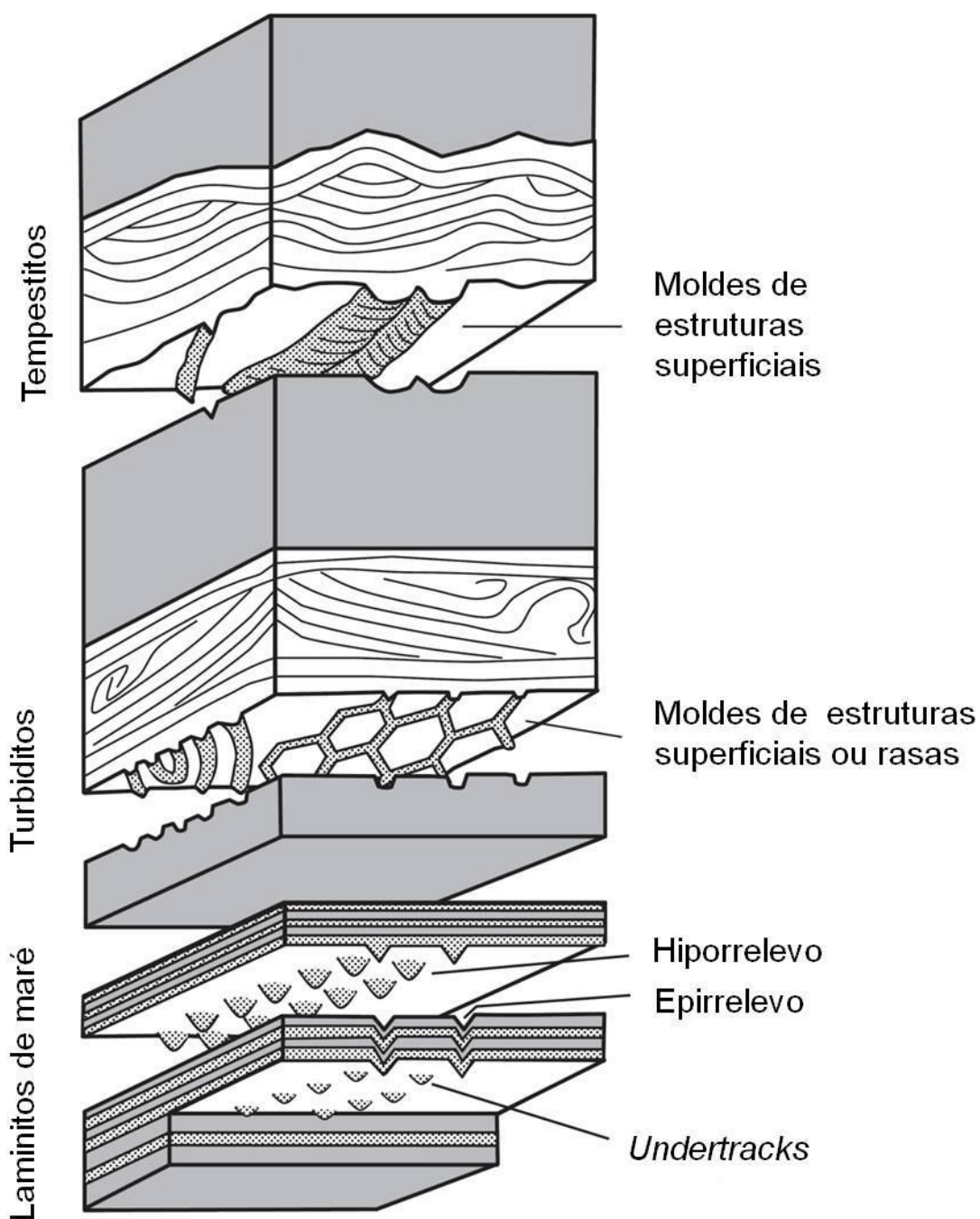


Figura 7 – Preservação dos icnofósseis em condições de soterramento episódico por eventos de tempestades, turbiditos e de maré (modificado de Savdra, 2007).

5.3 Icnologia Sistemática

ICNOGÊNERO *Asteriacites* von Schlotheim, 1820

Asteriacites lumbricalis (von Schlotheim, 1820)

(Figura 1 A)

Material: UFRJ-DG 552-Ic

Descrição: Escavação horizontal, preservada como estrutura em hiporrelevo convexo com simetria pentâmera, constituído por um núcleo disforme e cinco projeções triangulares. Suas dimensões são de 4,2 cm de diâmetro, 1,9 cm de diâmetro do núcleo, 1,9 cm de comprimento de cada braço e 2-5 mm de largura de cada braço. A preservação ocorre em um arenito fino com laminações cruzadas.

Comentários: O icnogênero *Asteriacites* é interpretado como um traço de repouso (*Cubichnia*) produzido por asterozoários (Mángano *et al.*, 1999). É geralmente descrito como uma escavação horizontal rasa, estrelada, portadora de cinco braços que se afunilam a partir da porção central (Fernandes & Fonseca, 2005). De acordo com Fernandes & Fonseca (2005), *Asteriacites lumbricalis* pode ser diferenciado das outras icnoespécies conhecidas pelos braços menores e ausência de estrias. Em contrapartida, *A. stelliforme* é representado por braços ornamentados com estrias regulares a irregulares pouco espaçadas e dispostas em *chevron*, apontando para o interior, e *A. quinquefolius* teria ornamentações em seus braços com uma aparência pilosa. O ambiente mais comum é o marinho raso a profundo com boa oxigenação (Bernardi & Avanzini, 2011), mas de acordo com Mángano *et al.* (1999), também podem ser comuns em condições de águas salobras.

ICNOGÊNERO *Bergaueria* Prantl, 1945

Bergaueria hemispherica (Crimes, Legg, Marcos & Arboleya, 1977)

(Figura 1 B-C)

Material: UFRJ-DG 249-Ic; UFRJ-DG 250-Ic; UFRJ-DG 252-Ic

Descrição: Escavações côncavas semiesféricas preservadas como estruturas em epirrelevo com cerca de 5–7 mm de diâmetro. A parede das estruturas é lisa e as mesmas não apresentam depressão central. Ocorrem na base arenitos finos a médios amarelados com laminações plano-paralelas.

Comentários: De acordo com Alpert (1973), *Bergaueria* representa escavações permanentes ou semi-permanentes de moradia (*Domichnia*) ou de repouso (*Cubichnia*), produzidas por antozoários, principalmente àqueles pertencentes ao gênero *Actinia*, vulgarmente conhecidos como anêmonas-do-mar. Segundo Mángano *et al.* (2005), *B. hemispherica* pode ser diferenciada das outras icnoespécies pelo formato simples e ausência de ornamentações, enquanto *B. perata* possui uma depressão central e *B. radiata* possui cristas radiais bem marcadas e uma forte impressão concêntrica bordejando suas cristas (Alpert, 1973). Ocorrências de espécimes agrupados, mas sem sobreposição das estruturas são indicados por Alpert (1973) como possíveis produtos de comportamentos coloniais por parte dos organismos produtores.

Ícnogênero *Bifungites* Desio, 1940

Bifungites fezzanensis (Desio, 1940)

(Figura 1 D-F)

Material: UFRJ-DG 522-Ic; UFRJ-DG 552-Ic; UFRJ-DG 594-Ic; UFRJ-DG 602-Ic

Descrição: Tubos horizontais com dois corpos terminais, em forma de seta ou em forma de esfera. A preservação ocorre como epirrelevo côncavo em arenito fino com laminações

cruzadas. Suas dimensões variam entre 2,3-5 cm de comprimento, 0,4-0,6 cm de largura, 0,9-1,1 cm de comprimento na extremidade e 0,9-1,1 cm de largura na extremidade.

Comentários: *Bifungites* é interpretado como estruturas de habitação (*Domicchnia*) em forma de U ou π invertido produzidas por organismos de corpo mole provavelmente por anelídeos ou artrópodes (Turner & Benton, 1983). Elas seriam moldes de câmaras conectadas por um tubo horizontal que servia de comunicação entre as câmaras e correspondia essencialmente ao tamanho do organismo produtor. Fillion & Pickerill (1984) realizaram uma vasta revisão na sistemática do icnogênero *Arthraria* e compararam-no aos icnogêneros *Diplocaterion* e *Bifungites*. Estes autores argumentam que apesar do material-tipo de *Bifungites* ter sido perdido durante a II Guerra Mundial e não haver indicação da localidade-tipo ou descrições detalhadas no trabalho original de Desio (1940), o icnogênero *Bifungites* pode ser diferenciado de *Arthraria* pela existência de prolongamentos verticais que são totalmente ausentes em *Arthraria*. Um elemento importante de diferenciação são pequenas protuberâncias ou pequenos círculos nos corpos terminais, produzidos pela compactação sobre os tubos verticais (Fillion & Pickerill, 1984). De acordo com Pickerill & Forbes (1977), pode ser encontrado em ambientes marinhos proximais a plataformais ou até mesmo em ambientes de águas salobras. Agostinho *et al.* (2004) propuseram duas novas icnoespécies, denominadas *B. munizi* e *B. piauiensis*. *B. fezzanensis* pode ser diferenciado de *B. munizi* pelo fato de que o último possui um dos corpos terminais com maiores dimensões e em formato de âncora. No entanto, *B. piauiensis* é diferenciado de *B. fezzanensis* apenas por apresentar “projeções para trás com ângulos de 10° a 35°”. Estes critérios de classificação não são claros o suficiente para a distinção entre as duas icnoespécies, carecendo, portanto de uma revisão do material-tipo e descrição mais detalhada do mesmo.

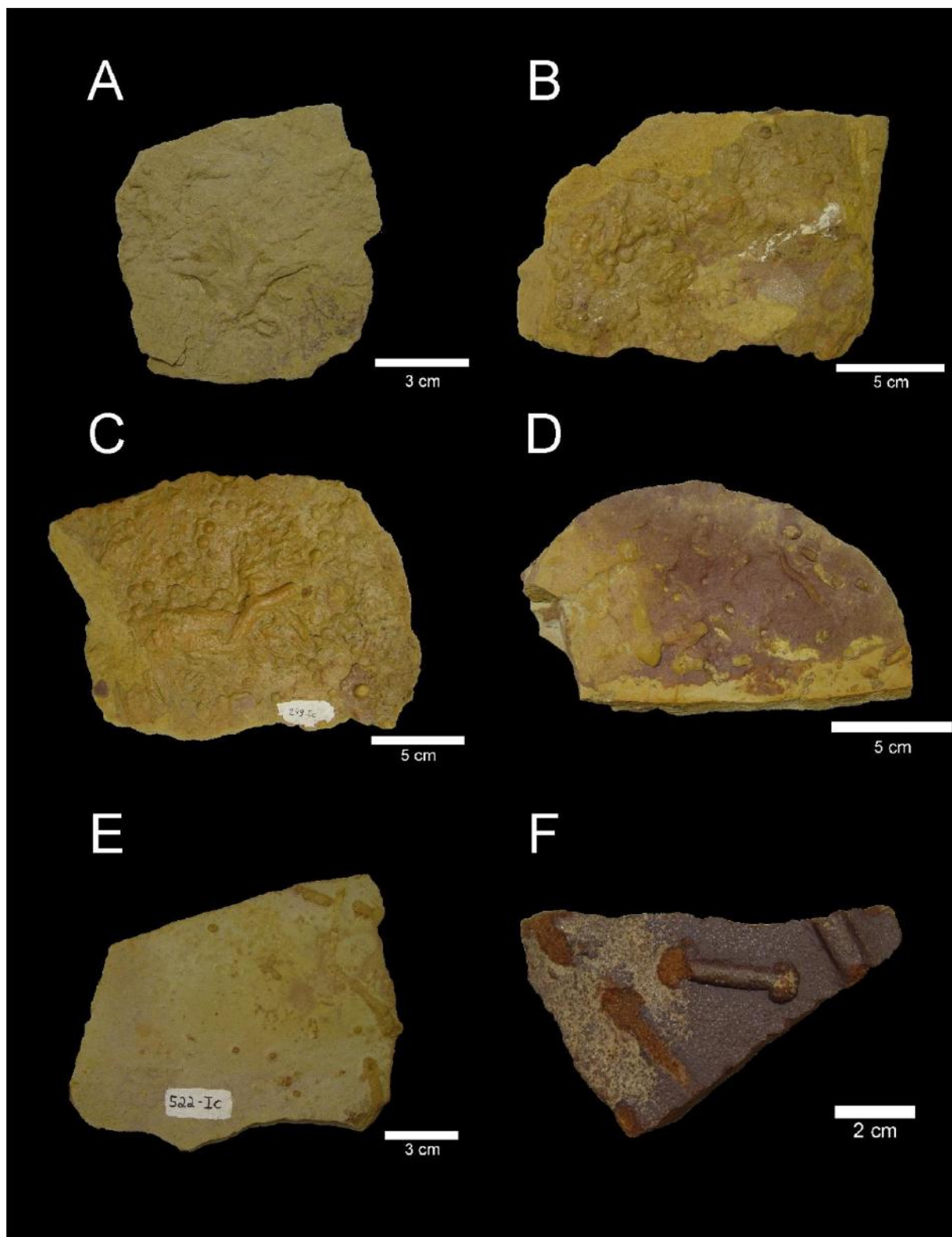


Figura 8 – **A:** UFRJ-DG 552-Ic, *Asteriacites lumbricalis*; **B:** UFRJ-DG 249-Ic, *Bergaueria hemispherica*; **C:** UFRJ-DG 250-Ic, *Bergaueria hemispherica*; **D:** UFRJ-DG 602-Ic, *Bifungites fezzanensis*; **E:** UFRJ-DG 522-Ic, *Bifungites fezzanensis*; **F:** UFRJ-DG 602-Ic, *Bifungites fezzanensis*.

ICNOGÊNERO *Cruziana* d'Orbigny, 1842

Cruziana problematica (Schindewolf, 1921)

(Figura 2 A)

Material: UFRJ-DG 503-Ic

Descrição: Escavação alongada, bilobada, preservada em epirrelevo convexo. Apresenta estrias bem marcadas e oblíquas ao eixo principal e uma suave marca externa. Seu comprimento é de 8,3 cm, largura total de 3,2 cm, largura da marca interna 1,8 cm e largura da marca externa de 0,9 cm. A preservação ocorre em arenitos médios com estratificação plano-paralela.

Comentários: Segundo Lermen (2006), pistas superficiais a relativamente profundas, compostas por dois sulcos contíguos, paralelos, formando dois lobos ornamentados por estrias dispostas de modo oblíquo são característicos do icnogênero *Cruziana*. De acordo com a autora, a profundidade constante dos sulcos de *C. problematica* permite sua diferenciação de *C. intermittens*, que possui profundidade variável dos sulcos ao longo da pista. Em comparação com *C. semiplicata*, também não são observadas marcas marginais em *C. problematica*. De acordo com Mángano *et al.* (2005), *Cruziana problematica* seria o resultado da locomoção (*Repichnia*) ou uma combinação de busca por alimento e locomoção (*Pascichnia*) de trilobitas ou outros artrópodes. A suave marca externa preservada no exemplar estudado pode ser correspondente a impressões dos exopoditos, enquanto a marca interna pode ser correspondente a impressões dos endopoditos.

ICNOGÊNERO *Cruziana* d'Orbigny, 1842

Cruziana isp.

(Figura 2 B)

Material: UFRJ-DG 612-Ic

Descrição: Escavação alongada, bilobada, preservada em epirrelevo convexo com finas ranhuras oblíquas ao eixo principal, que é bastante destacado em relevo côncavo. Os lobos são bem definidos e semicirculares. As ranhuras possuem um ângulo de 120° com o eixo principal e suas dimensões são de 8,2 cm de comprimento e 2,4 cm de largura. Cada um dos lobos possui largura de 1,3 cm e a espessura do eixo principal é de 0,4 cm.

Comentários: Apesar de possuir uma preservação singular dentre os exemplares estudados, não foi possível efetuar uma classificação a nível específico com base na bibliografia disponível. Embora existam diversas icnoespécies de *Cruziana* e um grande volume de trabalhos publicados sobre o tema, sua icnotaxonomia é bastante confusa e carece de uma revisão atenciosa.

ICNOGÊNERO *Helminthopsis* Heer, 1877

Helminthopsis isp.

(Figura 2 C)

Material: UFRJ-DG 527-Ic

Descrição: Traços lineares com um sulco central e bordas mais elevadas. Não se ramificam, mas o cruzamento é frequente. Suas dimensões são de pelo menos 10 cm de comprimento, largura de 0,4 cm e 0,1 cm de largura nas bordas. A preservação ocorre como hiporrelevo epiestratal.

Comentários: *Helminthopsis* foi descrito inicialmente por Heer (1877) (*apud* Wetzel & Bromley, 1996), durante a “Era dos Fucóides” como restos de algas curvilíneas ou espiralados com diâmetro entre 2 a 20 mm. *Helminthopsis* é atualmente um dos mais bem conhecidos icnogêneros com um grande número de icnoespécies definidas, como por

exemplo, *H. magna*, *H. intermedia* e *H. labyrinthica* (Wetzel & Bromley, 1996). Infelizmente, devido ao restrito número de exemplares e à baixa qualidade de preservação do mesmo, não foi possível realizar uma identificação icnoespecífica do exemplar.

ICNOGÊNERO *Monomorphichnus* Crimes, 1970

Monomorphichnus isp.

(Figura 2 D)

Material: UFRJ-DG 523-Ic

Descrição: Ranhuras simples ou duplas sem orientação, curvas e que se cruzam preservadas em hiporrelevo côncavo. A largura é de cerca de 0,2 cm e o comprimento é de 2,0 cm.

Comentários: O icnogênero *Monomorphichnus* é um icnotáxon controverso e frequentemente confundido com *Dimorphichnus*. De acordo com Mángano *et al.* (2005), *Monomorphichnus* pode ser diferenciado por se constituir de ranhuras retilíneas a levemente curvadas e paralelas, enquanto *Dimorphichnus* é definido como pistas contínuas. No entanto, alguns autores consideram a possibilidade de que *Monomorphichnus* seja apenas uma variação preservacional de *Dimorphichnus* (Seilacher, 2007), como um possível *undertrack*. Mángano *et al.* (2005) argumentam que ambos os icnotáxons seriam o produto da movimentação de trilobitas acima da superfície em correntes oscilatórias.

ICNOGÊNERO *Nereites* MacLeay, 1839

?*Nereites* isp.

(Figura 2 E)

Material: UFRJ-DG 506-Ic

Descrição: Pistas bilobadas meandranes horizontais em epi-relevo côncavo com um sulco central e lobos pouco espaçados. O exemplar se encontra preservado no topo de uma pequena camada de arenito médio com estratificação cruzada monticulada (*hummocky cross-stratification* – HCS). As pistas são muito delicadas com diâmetro de aproximadamente 2 mm de espessura.

Comentários: *Nereites* é descrito por Mángano *et al.* (2000) como escavações curvadas, meandranes com preenchimento retrusivo. Fernandes *et al.* (2002) descrevem a existência de *Nereites* para a Formação Pimenteiras e ilustram algumas dessas ocorrências. No entanto, os autores argumentam que esses exemplares muito se assemelham a *Phycosiphon* e que poderiam ser atribuídos a esse icnotáxon. Dentre os exemplares descritos nesse trabalho, apenas um possui caracteres semelhantes à *Nereites*, e o mesmo não possui boa preservação. Isso faz com que seja difícil identificar o preenchimento retrusivo que se constitui como um dos elementos de diagnose do icnotáxon. Embora o exemplar aqui descrito muito se assemelhe com aqueles descritos por Fernandes *et al.* (2002), é difícil definir com precisão sua posição icnotaxonômica. De acordo com Mángano *et al.* (2000) *Nereites* representa um comportamento combinado de locomoção e alimentação (*Pascichnia*) produzido por organismos vermiformes e sedimentófagos.

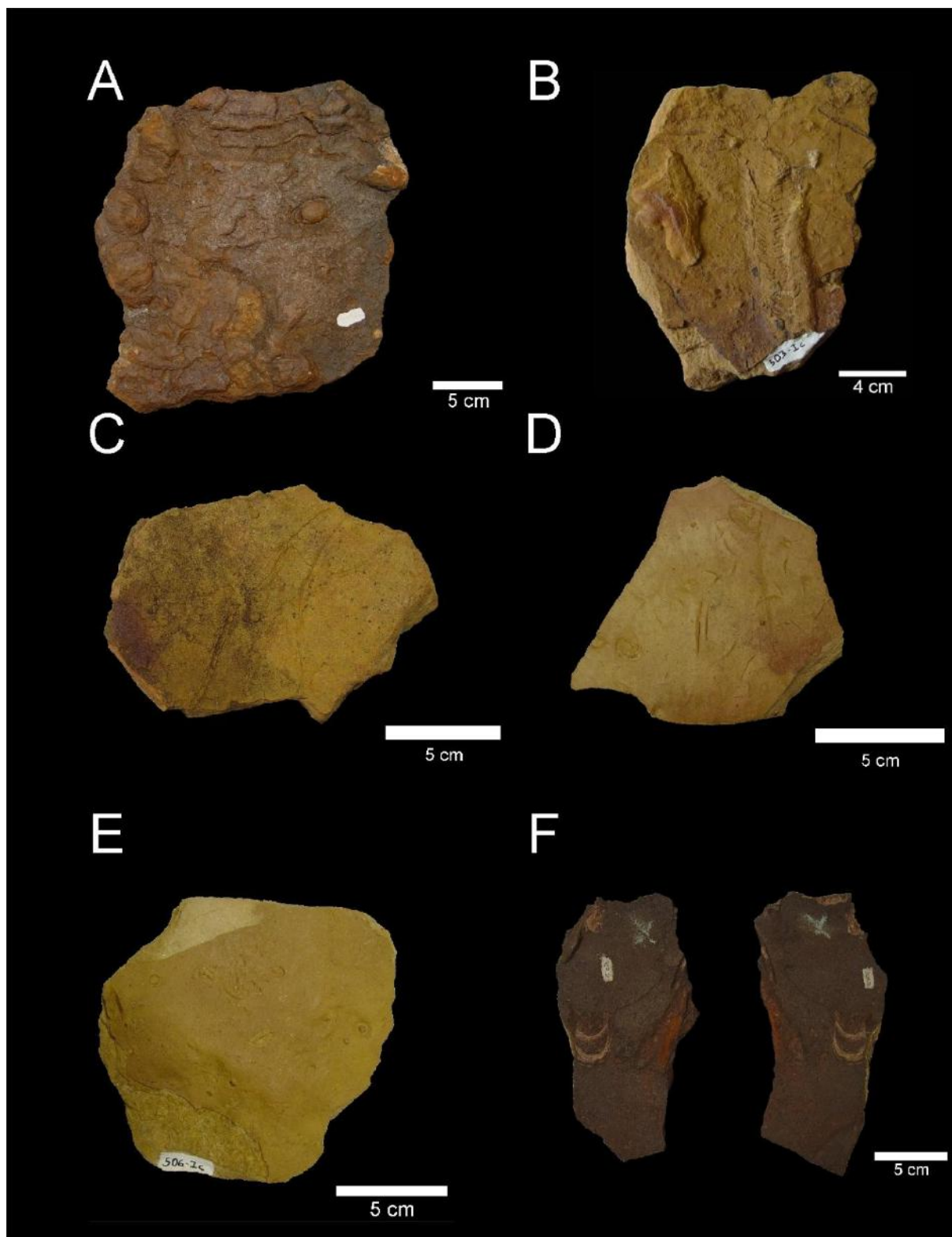


Figura 9 – **A:** UFRJ-DG 503-Ic, *Cruziana* isp.; **B:** UFRJ-DG 612-Ic, *Cruziana problematica*; **C:** UFRJ-DG 527-Ic, *Helminthopsis* isp.; **D:** UFRJ-DG 523-Ic, *Monomorphichnus* isp.; **E:** UFRJ-DG 506-Ic, ?*Nereites* isp.; **F:** UFRJ-DG 307-Ic, *Rhizocorallium jenense*.

Ícnogênero *Palaeophycus* Hall, 1847

Palaeophycus tubularis (Hall, 1847)

(Figura 3 A-C)

Material: UFRJ-DG 237-Ic; UFRJ-DG 238-Ic; UFRJ-DG 315-Ic; UFRJ-DG 333-Ic; UFRJ-DG 500-Ic; UFRJ-DG 501-Ic; UFRJ-DG 502-Ic; UFRJ-DG 505-Ic; UFRJ-DG 507-Ic; UFRJ-DG 509-Ic; UFRJ-DG 511-Ic; UFRJ-DG 524-Ic; UFRJ-DG 525-Ic; UFRJ-DG 565-Ic; UFRJ-DG 566-Ic

Descrição: Escavações horizontalizadas preservadas como estruturas em hiporrelevo côncavo em arenitos finos ou médios. São constituídas como tubos de parede simples, sem ornamentação e preenchimento semelhante à matriz. Alguns exemplares apresentam ramificações. Possuem intercruzamento frequente. Suas dimensões variam entre 0,6-1 cm de diâmetro e comprimento de pelo menos 7 cm. Podem ocorrer como estruturas com preenchimento composto por arenitos finos micáceos em contatos de camadas de arenitos finos e folhelhos roxos.

Comentários: *Palaeophycus* e *Planolites* são dois ícnogêneros que frequentemente causam confusão quanto à sua diferenciação. No entanto, Pemberton & Frey (1982) realizaram uma vasta revisão da bibliografia e propuseram que *Palaeophycus* pode ser diferenciado de *Planolites* pelo preenchimento dos tubos, que possuem a mesma composição da matriz circundante, e pela presença de ramificações. Apesar da grande diversidade de ícnoespécies já registradas para *Palaeophycus*, apenas cinco são válidas ícnotaxonomicamente: *P. tubularis*, *P. striatus*, *P. heberti*, *P. sulcatus* e *P. alternatus*. O principal critério de distinção entre *P. tubularis* e *P. striatus*, *P. sulcatus* e *P. alternatus* é a ausência de estrias nas paredes das estruturas, que estão presentes em todas as três ícnoespécies citadas. Além disso, *P. tubularis* também é facilmente diferenciado de *P.*

heberti, pois este último possui paredes espessas, enquanto *P. tubularis* possui paredes finas e lisas. Pemberton & Frey (1982) indicam que *Palaeophycus* representa o preenchimento passivo de escavações de habitação (*Domichnia*) produzidas por organismos vermiformes, como por exemplo, membros da classe Polychaeta.

ICNOGÊNERO *Phycosiphon* von Fischer-Ooster, 1858

Phycosiphon incertum (von Fischer-Ooster, 1858)

(Figura 3 D-F)

Material: UFRJ-DG 308-Ic; UFRJ-DG 309-Ic; UFRJ-DG 313-Ic; UFRJ-DG 319-Ic; UFRJ-DG 320-Ic; UFRJ-DG 321-Ic; UFRJ-DG 323-Ic; UFRJ-DG 470-Ic; UFRJ-DG 473-Ic

Descrição: Pistas meandranes, dispostas como laço endostratais e de orientação horizontal. Geralmente as pistas são de coloração mais clara que a rocha matriz e possuem uma espessura de 1 mm e um comprimento que pode ultrapassar os 2 cm. São bastante finos e com comprimento que pode chegar até a 7 mm. Podem ocorrer em folhelhos roxos ou arenitos muito finos, micáceos, com laminações cruzadas e coloração roxa. A preservação é como molde e contramolde.

Comentários: *Phycosiphon* é considerado um gênero com apenas uma icnoespécie por Wetzel & Bromley (1994). De acordo com estes autores, *P. incertum* é produzido pela atividade de alimentação e redeposição de sedimento por parte de organismos marinhos. Essa interpretação seria suportada pela presença de *spreiten* milimétricos a centimétricos, que por vezes são de difícil identificação. Podem ser produzidos em ambientes marinhos de variadas cotas batimétricas, desde a zona de *shoreface* inferior até a zona abissal. Os exemplares aqui descritos de *P. incertum*, se assemelham a ilustrações de *Crossopodia*

estrellada descrita por Kegel (1966), que admite em seu trabalho original que os exemplares por ele analisados não possuíam todas as características necessárias de *Crossopodia*. Em adição, Fernandes *et al.* (2002) já haviam indicado que os exemplares descritos por Kegel (1966), seriam provavelmente pertencentes ao icnogênero *Phycosiphon*.

ICNOGÊNERO *Rhizocorallium* Zenker, 1836

Rhizocorallium jenense (Mayer, 1954)

(Figura 2 F)

Material: UFRJ-DG 307-Ic; UFRJ-DG 312-Ic

Descrição: Escavações endostratais em forma de tubo em U com orientação horizontal a oblíqua ao acamamento e *spreite* interno. O tubo é distinto e possui parede lisa e a porção interna do tubo possui preenchimento igual ao da matriz. Suas dimensões são 3,1 cm de diâmetro e comprimento de pelo menos 4 cm (porção preservada) O tubo possui diâmetro 0,4 cm e espessura das lâminas do *spreite* de 0,2 cm.

Comentários: Segundo Worsley & Mørk (2001) apenas três icnoespécies de *Rhizocorallium* podem ser consideradas válidas. *R. jenense* pode ser diferenciada de *R. irregulare* e *R. uliarensense* por ser menor e possuir orientação oblíqua ao acamamento, enquanto as duas outras icnoespécies são maiores, horizontais e mais complexas. Além disso, *R. jenense* seria ainda o único icnotáxon produzido como túneis de habitação (*Domichnia*) de organismos suspensívoros.

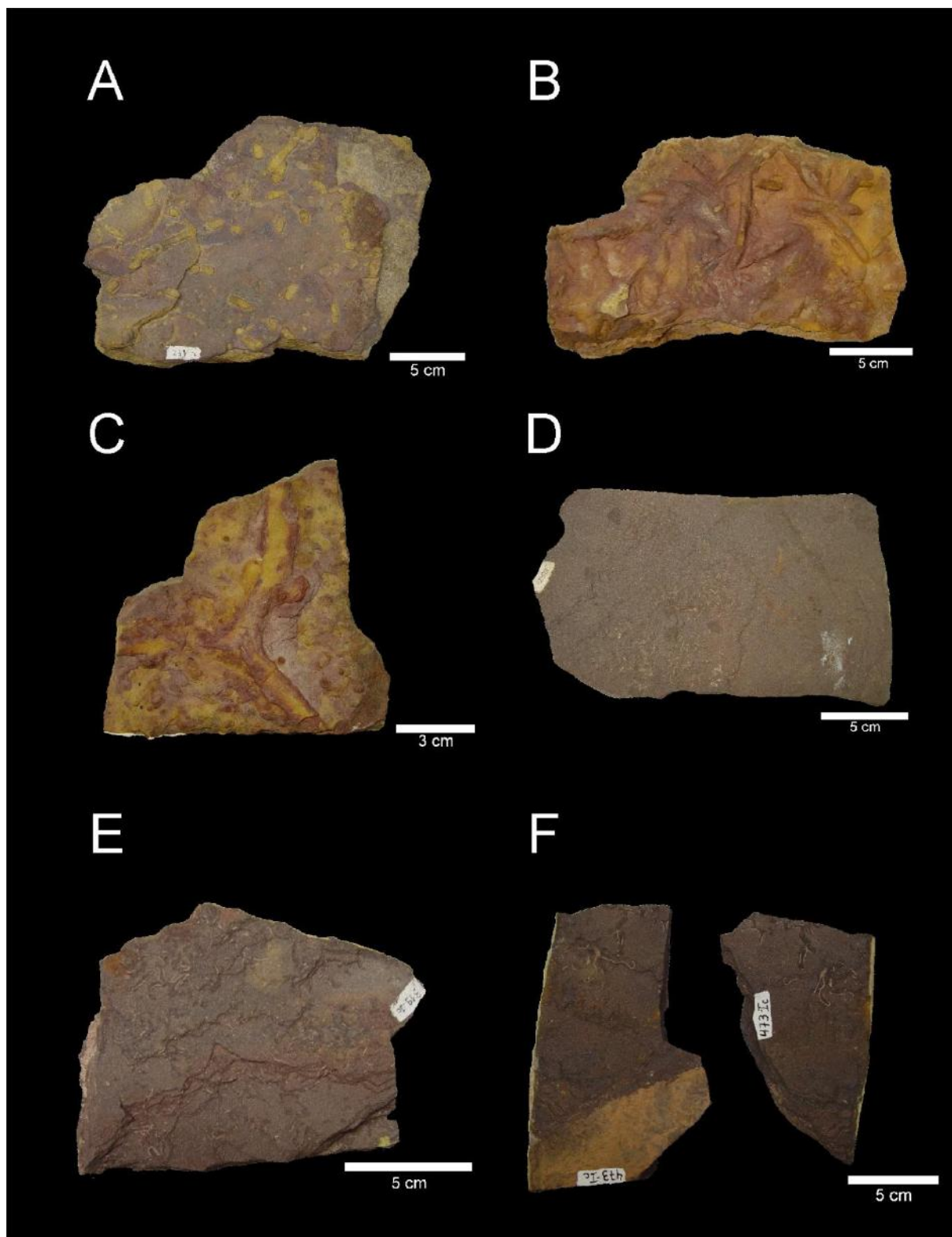


Figura 10 – **A:** UFRJ-DG 237-Ic, *Palaeophycus tubularis*; **B:** UFRJ-DG 509-Ic, *Palaeophycus tubularis*; **C:** UFRJ-DG 511-Ic, *Palaeophycus tubularis*; **D:** UFRJ-DG 308-Ic, *Phycosiphon incertum*; **E:** UFRJ-DG 319-Ic, *Phycosiphon incertum*; **F:** UFRJ-DG 473-Ic, *Phycosiphon incertum*.

Ícnogênero *Rusophycus* Hall, 1852

Rusophycus dispar (Linnarsson, 1869)

(Figura 4 A-F)

Material: UFRJ-DG 483-Ic; UFRJ-DG 485-Ic; UFRJ-DG 486-Ic; UFRJ-DG 487-Ic; UFRJ-DG 488-Ic; UFRJ-DG 551-Ic; UFRJ-DG 555-Ic; UFRJ-DG 557-Ic; UFRJ-DG 561-Ic; UFRJ-DG 564-Ic; UFRJ-DG 592-Ic; UFRJ-DG 595-Ic; UFRJ-DG 619-Ic

Descrição: Escavações bilobadas em hiporrelevo côncavo com finas ranhuras oblíquas ao eixo principal com ângulos que variam de 30° a 120°. Não são observadas impressões da *coxae* em nenhum dos exemplares. Suas dimensões variam entre 3,3-8,8 cm de comprimento, 1,4-5,4 cm de largura. Cada um dos lobos por sua vez, pode possuir entre 1,8 cm e 2,9 cm de largura, e as ranhuras podem ter sua espessura variando entre 0,2-0,4 cm. Alguns exemplares possuem excelente preservação e podem por vezes constituir-se como estruturas arqueadas, em forma de meia-lua (UFRJ-DG 485-Ic).

Comentários: Apesar da grande variedade de icnoespécies definidas para o icnogênero *Rusophycus*, *R. dispar* é definido por Alpert (1976) como uma escavação bilobada elíptica ou em forma de coração, com ranhuras transversais a levemente oblíquas. *R. dispar* pode ser diferenciado de icnoespécies como *R. morgati* e *R. radialis*, pela ausência de marcas coxais e de *R. moyensis* pela maior dimensão e diferente formato, uma vez que *R. moyensis* possui forma de café e é geralmente mais alongado (Seilacher, 2007). *Rusophycus* é geralmente interpretado como uma estrutura de repouso de artrópodes, sendo que durante o Paleozóico os trilobitas são admitidos como principais produtores. Segundo Seilacher (2007), *Rusophycus* pode ser produzido também pelo auto-soterramento de trilobitas durante o período de ecdise, como estratégia de proteção.

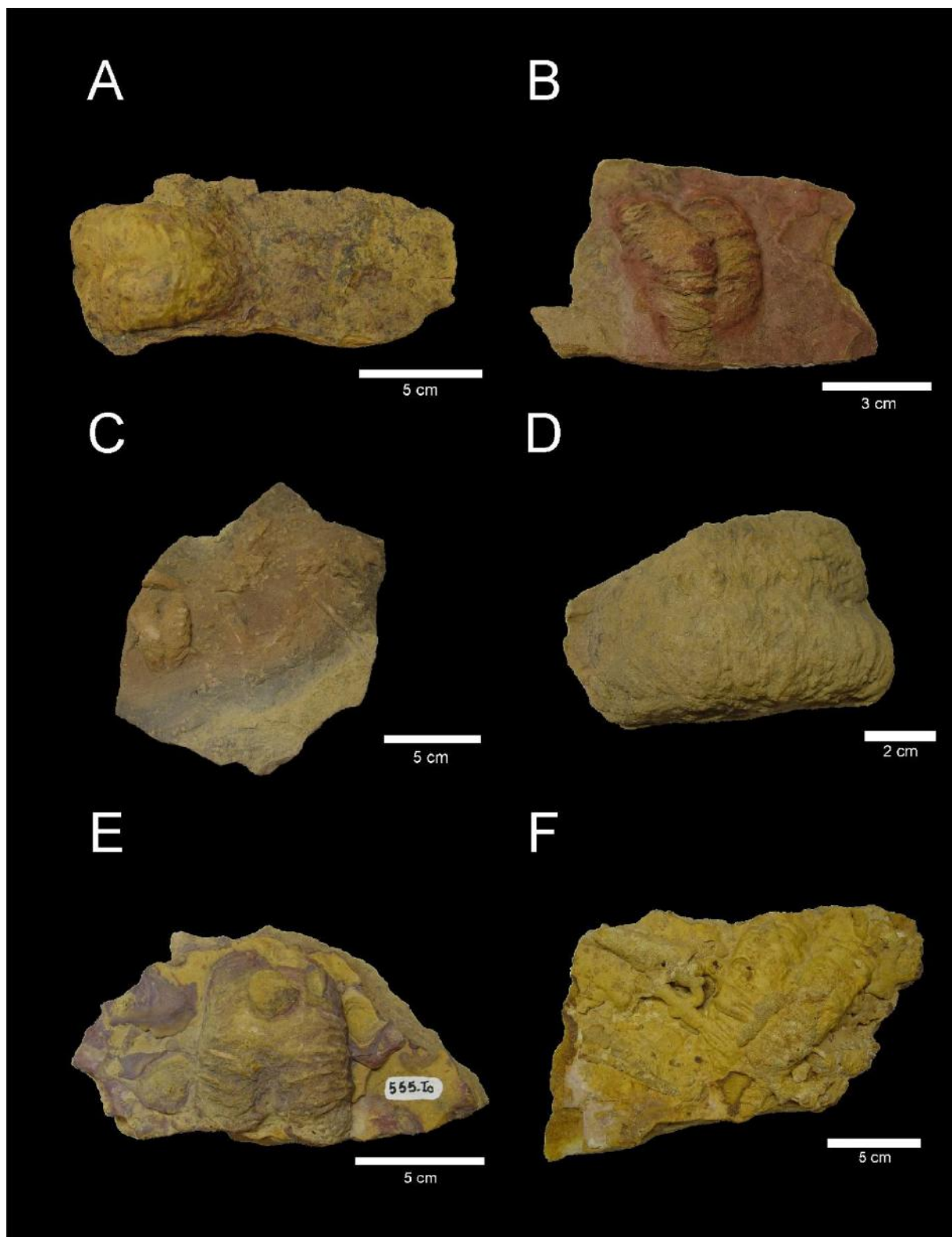


Figura 11 – **A:** UFRJ-DG 483-Ic, *Rusophycus dispar*; **B:** UFRJ-DG 485-Ic, *Rusophycus dispar*; **C:** UFRJ-DG 487-Ic, *Rusophycus dispar*; **D:** UFRJ-DG 551-Ic, *Rusophycus dispar*; **E:** UFRJ-DG 555-Ic, *Rusophycus dispar*; **F:** UFRJ-DG 619-Ic, *Rusophycus dispar*.

ICNOGÊNERO *Rusophycus* Hall, 1852

Rusophycus isp.

(Figura 5 A)

Material: UFRJ-DG 526-Ic

Descrição: Escavação bilobada em hiporrelevo côncavo com ranhuras perpendiculares ao eixo principal. As bordas possuem um corte abrupto, sem marcas evidentes dos exopoditos. Em uma das extremidades é possível observar marcas mais proeminentes e esféricas. O centro da estrutura possui um sulco muito bem marcado. A parte anterior apresenta duas pequenas marcas globulares. Suas dimensões são de 4 cm de comprimento, a largura total é de 2,4 cm de largura. Cada um dos lobos possui 1,0 cm de largura e a espessura das ranhuras é de 0,1 cm.

Comentários: Embora representado por apenas um espécimen, esta estrutura claramente difere dos outros exemplares atribuídos à *Rusophycus* neste estudo. As marcas globulares na porção anterior do exemplar não correspondem a caracteres descritos na bibliografia consultada. Essas marcas parecem ter sido produzidas pelo hipóstomo, caso o produtor seja um trilobita, o que justificaria a escassa preservação dessas estruturas.

ICNOGÊNERO *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

Thalassinoides horizontalis (Myrow, 1995)

(Figura 5 B-D)

Material: UFRJ-DG 499-Ic; UFRJ-DG 513-Ic; UFRJ-DG 567-Ic

Descrição: Escavações tubulares com ramificação verdadeira preservada como traços horizontalizados endostratais preservados em um arenito muito fino com laminações cruzadas. O preenchimento é igual ao da matriz e os tubos possuem cerca de 0,3-0,6 cm

de diâmetro e seção perpendicular é oval devido à compactação. Não possuem intercruzamentos, mas diversas ramificações em Y que formam um padrão complexo de conexões.

Comentários: De acordo com Myrow (1995), *Thalassinoides* possui uma sistemática complexa, embora apenas quatro espécies sejam mais comuns. Segundo este autor, *T. horizontalis*, pode ser diferenciada das outras icnoespécies por possuir menores dimensões (diâmetro em torno de 5 mm), estar geralmente contido em apenas um plano de orientação e diâmetro constante, seja nos tubos ou nas junções. Embora *Thalassinoides* seja comum em ambientes carbonáticos e geralmente interpretado como produto de escavações de moradia (*Domichnia*) produzidas por crustáceos, Myrow (1995) argumenta que este icnotáxon pode ser produzido por organismos suspensívoros ou com hábitos de cultivo de colônias de bactérias (*Agrichnia*), sobretudo durante o Paleozoico.

Ícnogênero ?*Neoskolithos* Kegel, 1966

?*Neoskolithos picosensis* (Kegel, 1966)

(Figura 6 A-C)

Material: UFRJ-DG 474-Ic; UFRJ-DG 475-Ic; UFRJ-DG 476-Ic; UFRJ-DG 477-Ic; UFRJ-DG 478-Ic; UFRJ-DG 479-Ic; UFRJ-DG 480-Ic; UFRJ-DG 550-Ic; UFRJ-DG 556-Ic; UFRJ-DG 558-Ic; UFRJ-DG 559-Ic; UFRJ-DG 563-Ic; UFRJ-DG 568-Ic; UFRJ-DG 569-Ic

Descrição: Tubos verticais com aspecto de ogiva, que ocorrem abaixo do topo de arenitos finos amarelados com seleção moderada. Seu preenchimento é de óxido de ferro em toda a estrutura. Suas dimensões são de 1,2–2,4 cm de comprimento e de 2-5 cm de diâmetro na porção superior e 0,3-0,8 mm na porção inferior. É possível observar fraturas na porção superior da amostra que são paralelas ao alinhamento dos tubos. Os tubos também podem

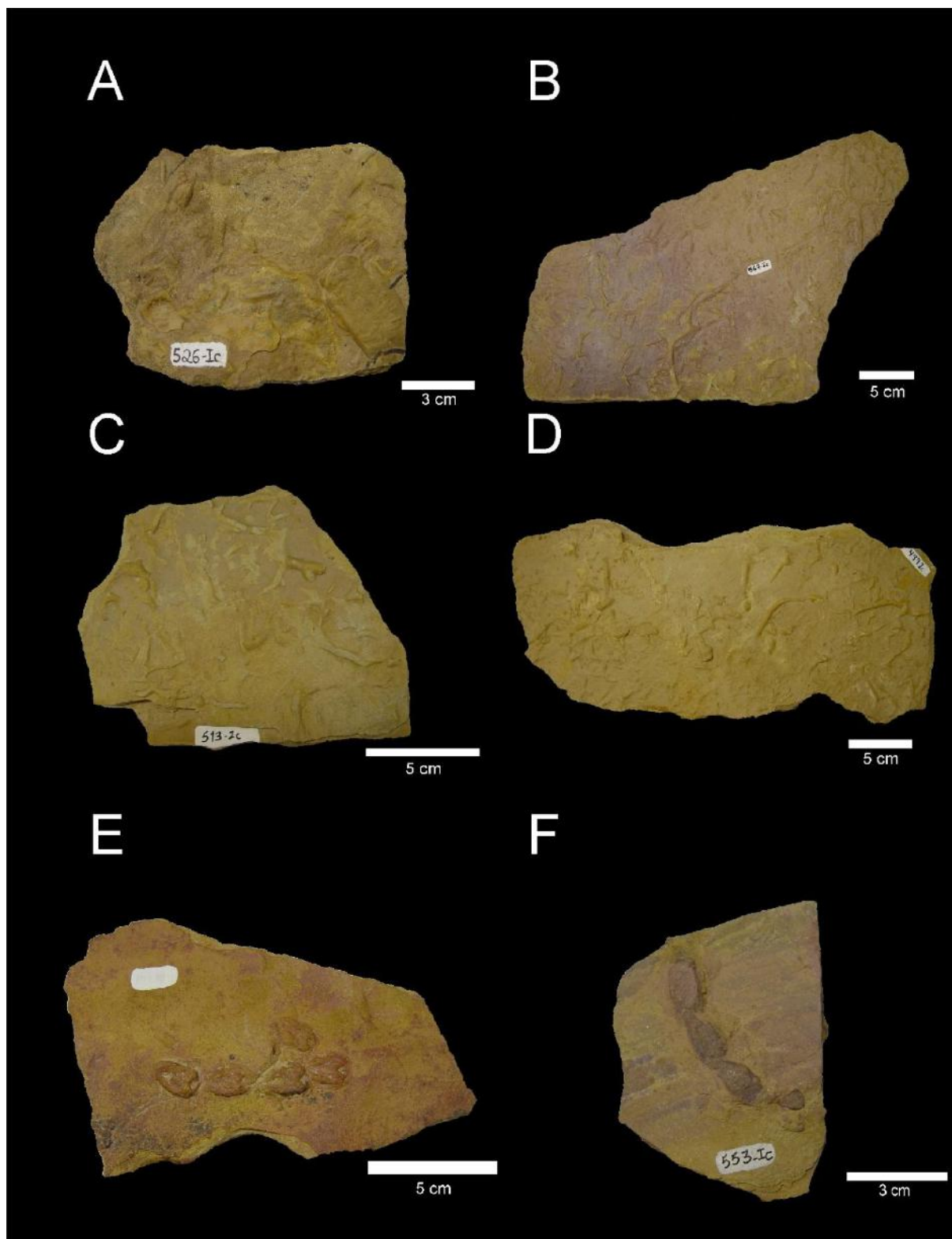


Figura 12 – **A:** UFRJ-DG 526-Ic, *Rusophycus* isp.; **B:** UFRJ-DG 567-Ic, *Thalassinoides horizontalis*; **C:** UFRJ-DG 513-Ic, *Thalassinoides horizontalis*; **D:** UFRJ-DG 499-Ic, *Thalassinoides horizontalis* **E:** UFRJ-DG 601-Ic, Escavações indefinidas, **F:** UFRJ-DG 553-Ic, Escavações indefinidas.

ser mais longos e mais finos, ocupando toda a camada, com dimensões de 2,6 cm de comprimento, 0,2 cm de diâmetro no topo e 0,4 cm de diâmetro na base. Podem se desenvolver como tubos de grandes dimensões e aspecto bulboso (UFRJ-DG 568-Ic).

Comentários: Estes exemplares têm sido classicamente descritos como pertencentes ao icnogênero *Neoskolithos*. Até o presente momento, *Neoskolithos* é um icnogênero monoicnoespecífico, contando apenas com *N. picosensis*, descrito apenas para a Formação Pimenteira. Tendo-se em vista a restrição dessa estrutura e os novos estudos que trazem uma nova explicação sobre estruturas com morfologia semelhante, recomenda-se uma reavaliação do icnotáxon, tendo em vista a confirmação de sua origem através da atividade de habitação de organismos suspensívoros como primeiramente proposto e não apenas como uma estrutura abiogênia.

Escavações indefinidas

(Figura 5 E-F)

Material: UFRJ-DG 553-Ic; UFRJ-DG 601-Ic

Descrição: Escavações formadas por pacotes em forma de seta ou coração com preservação em hiporrelevo côncavo. Possui bordas mais elevadas e um núcleo deprimido. As bordas não possuem ornamentação. Suas dimensões são de 5,6-7,1 cm de comprimento, 1,1 cm de largura, e 1,8 cm de comprimento de cada pacote. No exemplar UFRJ-DG 601-Ic um dos segmentos não se encontra alinhado com os demais e a preservação é muito boa.

Comentários: Não foi possível identificar os espécimes acima descritos através da bibliografia consultada.

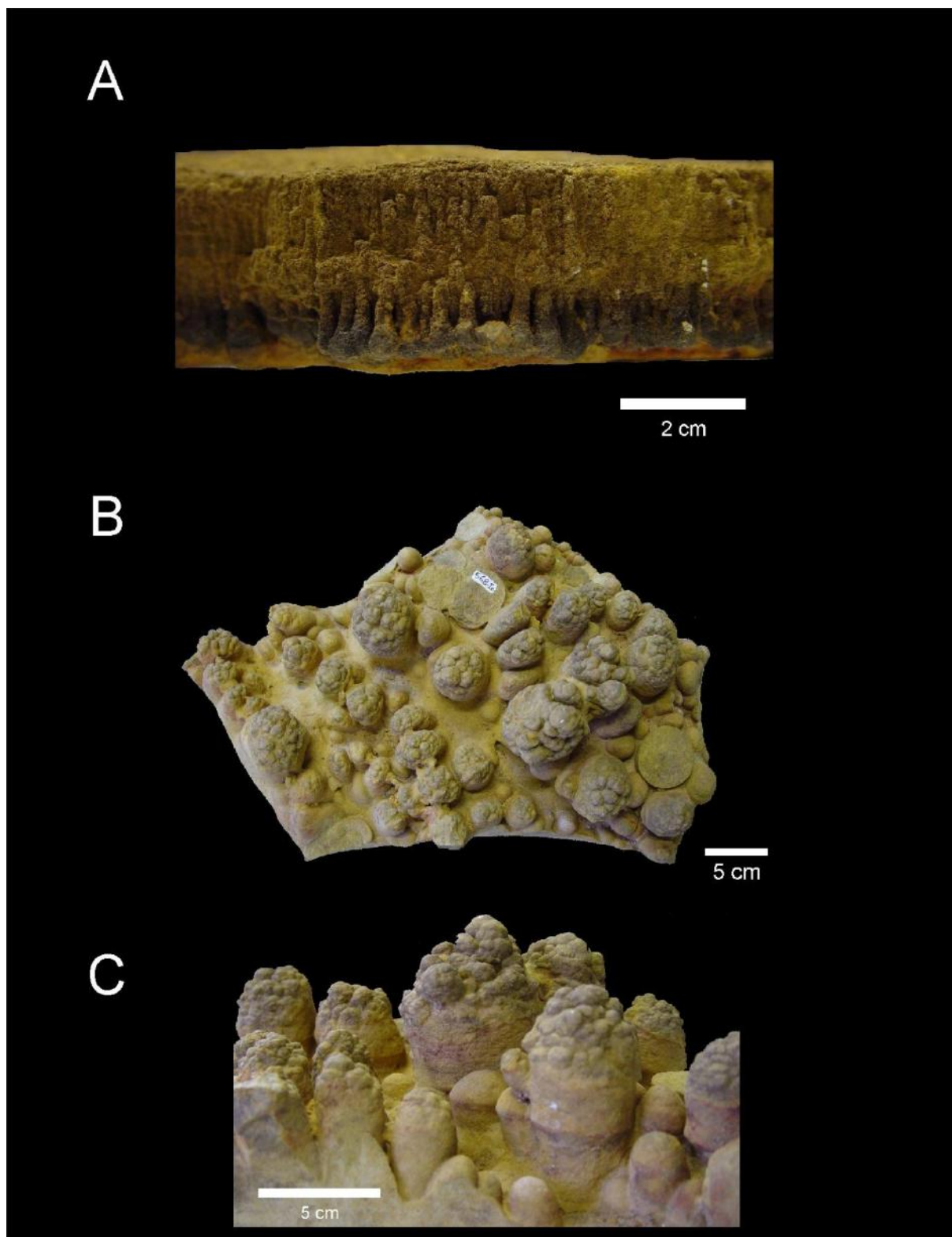


Figura 13 – **A:** UFRJ-DG 474-Ic, ?*Neoskolithos picosensis*; **B:** UFRJ-DG 568-Ic, ?*Neoskolithos picosensis*; **C:** UFRJ-DG 568-Ic, ?*Neoskolithos picosensis*.

6 DISCUSSÃO

6.1 Associações de icnofósseis

Neste estudo puderam ser encontradas três associações de icnofósseis diferentes:

Associação Phycosiphon – quatro icnotáxons caracterizam essa associação: *Phycosiphon incertum*, *Rhizocorallium jenense*, *Palaeophycus tubularis* e *Bifungites fezzanensis*. *P. incertum* é o icnofóssil mais abundante, embora essa associação possua pouca densidade de bioturbação. Todos os icnotáxons possuem orientação horizontalizada e quanto ao material circundante, estão preservados em folhelhos roxos ou arenitos muito finos e micáceos. Essa associação é encontrada apenas no Ponto 1 e é indicativa de um ambiente de deposição calmo.

Associação Rusophycus – essa associação possui maior icnodiversidade e um maior número de exemplares do que a associação Phycosiphon. Ela é caracterizada por nove icnotáxons: *Asteriacites lumbricalis*, *Bergaueria hemispherica*, *Bifungites fezzanensis*, *Cruziana problematica*, *Cruziana isp.*, *?Nereites isp.*, *Palaeophycus tubularis*, *Rusophycus dispar*, *Thalassinoides horizontalis*. Essa associação se encontra presente no Ponto 2, com as ocorrências dos icnofósseis predominantemente na base das camadas de arenitos. *Rusophycus* é o icnotáxon mais frequente, sendo encontrado em diversos níveis e com diferentes graus de preservação. São comuns finas marcas que provavelmente foram formadas pelos apêndices de trilobitas. Quase todos os representantes dessa associação são estruturas pré-deposicionais, preservados como marcas hipoestratais. Essa associação é o reflexo de uma comunidade de organismos bem estabelecida e esporadicamente submetida a mudanças no regime de sedimentação.

Associação Palaeophycus – cinco icnotáxons compõem essa associação: *Bifungites fezzanensis*, *Helminthopsis* isp., *Monomorphichnus* isp., *Palaeophycus tubularis*, *Rusophycus* isp. Essa é a associação mais pobre e de menor densidade de bioturbação. Está presente no Ponto 3, sendo que os icnofósseis ocorrem na interface entre as delgadas camadas de folhelho e as camadas de arenito.

6.2 Icnofácies

Icnofácies são caracterizadas como associações de icnofósseis específicos, passíveis de distinção e com recorrência no tempo e no espaço. Estes grupos de icnofósseis por sua vez refletem combinações de comportamento animal específicas, influenciadas pelas condições ambientais vigentes e constituem a referência para a resposta animal-sedimento às variações ambientais. Dessa forma, as icnofácies são construções conceituais baseadas em observações empíricas que nos possibilitam atribuir um significado paleoambiental para determinadas icnocenoses.

A Icnofácies Cruziana foi definida por MacEachern *et al.* (2007) como uma associação mista de estruturas verticais, horizontais e inclinadas; estruturas produzidas por organismos móveis; alta abundância e alta diversidade de icnotáxons; predominância de estruturas produzidas por organismos sedimentófagos e comum sobreposição de estruturas produzidas com o progresso da sedimentação. No âmbito deste trabalho foi interpretada a existência de uma icnofácies, Cruziana, subdividida em “arquetípica” e “empobrecida”.

Icnofácies Cruziana “arquetípica” – A icnofácies Cruziana “arquetípica” corresponde à associação típica de icnofósseis de locomoção e de alimentação onde alguns dos principais icnotáxons são *Planolites*, *Rhizocorallium*, *Rusophycus*, *Cruziana*, *Lockeia*, *Gyrochorte*, *Ophiomorpha*, *Diplocraterion*, *Arenicolites*, *Palaeophycus* e *Skolithos*. As associações *Rusophycus* e *Palaeophycus* definidas neste trabalho podem ser definidas como pertencentes a esta subdivisão, sendo que, todos os icnotáxons identificados possuem classificação

etológica concordante com a proposta de MacEachern *et al.* (2007). Essa icnofácies é característica de condições permanentemente subaquáticas, com substratos coesos e inconsolidados (lamosos) em ambientes marinhos rasos com salinidade normal. Situa-se normalmente em condições de águas calmas de costa-afora (*offshore*) abaixo do nível de ação de ondas de tempo, porém dentro do nível de base de ação de eventuais ondas de tempestade (Figura 7).

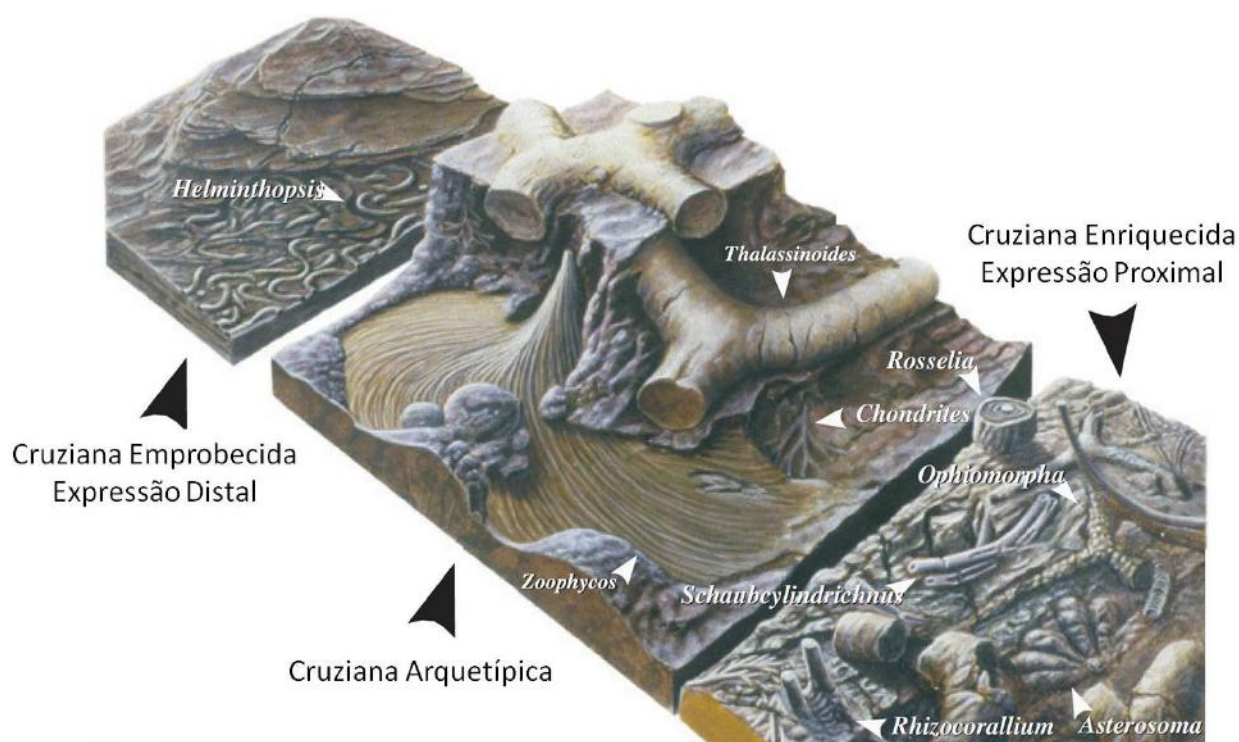


Figura 14 – Diagrama ilustrativo da icnofácies Cruziana e suas expressões distal, arquetípica e proximal (modificado de MacEachern *et al.*, 2007).

Icnofácies Cruziana “empobrecida” – A icnofácies Cruziana “empobrecida” é representada nesse estudo pela associação *Phycosiphon*. De acordo com MacEachern *et al.* (2005) e Young (2006) a icnofácies Cruziana “empobrecida” pode ser definido por um conjunto de icnofósseis com menor densidade e abundância e predomínio de estruturas planares e pouco profundas em relação à icnofácies Cruziana “arquetípica”. A icnofácies Cruziana “empobrecida” é representativa de ambientes deltáicos distais (prodelta e frente deltaica distal). Essa subdivisão da icnofácies Cruziana representa também uma sedimentação em

ambientes mais estressantes, com frequentes variações no nível de salinidade e possivelmente um posicionamento mais distal do que o da expressão “arquetípica”. A presença de fragmentos vegetais de plantas vasculares nos mesmos sedimentos hospedantes dos icnofósseis no Ponto 1 indica um grande aporte sedimentar do continente. Essa associação pode ser diferenciada da icnofácies Nereites, pela ausência de icnofósseis complexos, produzidos por comportamentos de pastagem (*Pasichnia*) e de cultivo (*Agrichnia*).

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através do estudo dos icnofósseis de invertebrados da Formação Pimenteira na borda leste da Bacia do Parnaíba acrescentam novos icnotáxons para esta unidade litoestratigráfica. Foram identificados 15 icnotáxons: *Asteriacites lumbricalis*, *Bergaueria hemispherica*, *Bifungites fezzanensis*, *Cruziana problematica*, *Cruziana* isp., *Helminthopsis* isp., *Monomorphichnus* isp., ?*Nereites* isp., *Palaeophycus tubularis*, *Phycosiphon incertum*, *Rhizocorallium jenense*, *Rusophycus dispar*, *Rusophycus* isp., *Thalassinoides horizontalis*, ?*Neoskolithos picosensis*, dos quais 8 representam novas ocorrências: *Asteriacites lumbricalis*, *Bergaueria hemispherica*, *Bifungites fezzanensis*, *Cruziana problematica*, *Monomorphichnus* isp., *Rhizocorallium jenense*, *Rusophycus dispar*, *Thalassinoides horizontalis*.

Foi possível efetuar a identificação de três associações de icnofósseis que puderam ser agrupadas em duas subdivisões da icnofácies Cruziana. Com isso é possível interpretar um ambiente de sedimentação marinha rasa em condições de águas calmas eventualmente afetadas por eventos de tempestades, mas com influências de aporte sedimentar continental em regiões de prodelta e frente deltaica distal. Essa interpretação é coerente com as feições sedimentológicas dos afloramentos visitados e também da bibliografia consultada. A principal icnocenose identificada reflete comunidades de organismos com comportamentos de deslocamento, pastagem, e habitação em um substrato inconsolidado e lamoso. Essas comunidades sofriam os efeitos de cada evento de tempestade, com possíveis modificações nas biocenoses e readequações às condições ambientais vigentes naquele momento.

| Iconotáxon | Exemplar | Localidade |
|------------------------------------|--|-------------------|
| <i>Asteriacites lumbricalis</i> | UFRJ-DG 552-Ic | Ponto 2 |
| <i>Bergaueria hemispherica</i> | UFRJ-DG 249-Ic; UFRJ-DG 250-Ic; UFRJ-DG 252-Ic | Ponto 2 |
| <i>Bifungites fezzanensis</i> | UFRJ-DG 522-Ic; UFRJ-DG 552-Ic; UFRJ-DG 594-Ic; UFRJ-DG 602-Ic; | Pontos 1, 2 e 3 |
| <i>Cruziana problematica</i> | UFRJ-DG 503-Ic | Ponto 2 |
| <i>Cruziana isp.</i> | UFRJ-DG 612-Ic | Ponto 2 |
| <i>Helminthopsis isp.</i> | UFRJ-DG 527-Ic | Ponto 3 |
| <i>Monomorphichnus isp.</i> | UFRJ-DG 523-Ic | Ponto 3 |
| <i>?Nereites isp.</i> | UFRJ-DG 506-Ic | Ponto 2 |
| <i>Palaeophycus tubularis</i> | UFRJ-DG 237-Ic; UFRJ-DG 238-Ic; UFRJ-DG 315-Ic; UFRJ-DG 333-Ic; UFRJ-DG 500-Ic; UFRJ-DG 501-Ic; UFRJ-DG 502-Ic; UFRJ-DG 505-Ic; UFRJ-DG 507-Ic; UFRJ-DG 509-Ic; UFRJ-DG 511-Ic; UFRJ-DG 524-Ic; UFRJ-DG 525-Ic; UFRJ-DG 565-Ic; UFRJ-DG 566-Ic | Pontos 1, 2 e 3 |
| <i>Phycosiphon incertum</i> | UFRJ-DG 308-Ic; UFRJ-DG 309-Ic; UFRJ-DG 313-Ic; UFRJ-DG 319-Ic; UFRJ-DG 320-Ic; UFRJ-DG 321-Ic; UFRJ-DG 323-Ic; UFRJ-DG 470-Ic; UFRJ-DG 473-Ic | Ponto 1 |
| <i>Rhizocorallium jenense</i> | UFRJ-DG 307-Ic; UFRJ-DG 312-Ic | Ponto 1 |
| <i>Rusophycus dispar</i> | UFRJ-DG 483-Ic; UFRJ-DG 485-Ic; UFRJ-DG 486-Ic; UFRJ-DG 487-Ic; UFRJ-DG 488-Ic; UFRJ-DG 551-Ic; UFRJ-DG 555-Ic; UFRJ-DG 557-Ic; UFRJ-DG 561-Ic; UFRJ-DG 564-Ic; UFRJ-DG 592-Ic; UFRJ-DG 595-Ic; UFRJ-DG 619-Ic | Ponto 2 |
| <i>Rusophycus isp.</i> | UFRJ-DG 526-Ic | Ponto 3 |
| <i>Thalassinoides horizontalis</i> | UFRJ-DG 499-Ic; UFRJ-DG 513-Ic; UFRJ-DG 567-Ic | Ponto 2 |
| <i>Neoskolithos picosensis</i> | UFRJ-DG 474-Ic; UFRJ-DG 475-Ic; UFRJ-DG 476-Ic; UFRJ-DG 477-Ic; UFRJ-DG 478-Ic; UFRJ-DG 479-Ic; UFRJ-DG 480-Ic; UFRJ-DG 550-Ic; UFRJ-DG 556-Ic; UFRJ-DG 558-Ic; UFRJ-DG 559-Ic; UFRJ-DG 563-Ic; UFRJ-DG 568-Ic; UFRJ-DG 569-Ic | Pontos 1 e 2 |
| Escavações indefinidas | UFRJ-DG 553-Ic; UFRJ-DG 601-Ic | Ponto 2 |

Quadro 3 – Relação dos iconotáxons encontrados, exemplares correspondentes e afloramentos de onde os mesmos foram coletados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostinho, S. 2005. *Revisão sistemática de icnofósseis da Formação Pimenteira, Devoniano da bacia do Parnaíba, no Estado do Piauí*. Tese de Doutorado, IGEO-UFRJ, Rio de Janeiro. 123p.
- Agostinho, S. Viana, M. S. S. & Fernandes, A. C. S. 2004. Duas novas icnoespécies de *Bifungites* Desio, 1940 na formação Pimenteira, Devoniano da bacia do Parnaíba, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, 62 (4): 519-530.
- Almeida, F.F.M. & Carneiro, C.D.R. 2004. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R. & BRITO-NEVES, B. B. (Org.). *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p.43-58.
- Alpert, S.P. 1973. *Bergaueria* Prantl (Cambrian and Ordovician), a probable actinian trace fossil. *Journal of Paleontology*, 47: 919-924.
- Alpert, S.P. 1976. Trilobite and Star-like Trace Fossils from the White-Inyo Mountains, California. *Journal of Paleontology*, 50(2): 226-239.
- Bernardi, M. & Avanzini, M. 2011. *Asteriacites lumbricalis* from the Anisian (Middle Triassic) of Vallarsa (Southern Trentino, NE Italy), *Studi Trentini di Scienze Naturali*, 88: 187-190.
- Borghini, L. & Young, C.G.K. 2003. "Winnowed boulder lag": a tsunamite in the Devonian of Parnaíba Basin. In: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3, Belém. *Abstracts*, p.158-160.
- Carozzi, V.C.; Falkenhein F.U.H.; Carneiro, R.G.; Esteves, F.R. & Contreiras, C.J.A. 1975. Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluro-eocarbonífera da bacia do Maranhão. Rio de Janeiro, Petrobras. *Ciência-Técnica-Petróleo*, Seção Exploração de Petróleo, 7: 1-60.
- Corrêa, L.M.S.A.; Agostinho, S.; Fernandes, A.C.S. & Vieira, P.M. 2004. Icnofósseis da Formação Pimenteira (Devoniano da Bacia do parnaíba), município de Miranorte, Estado de Tocantins, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, 62: 283-291.
- Crimes, T.P. 1970. Trilobite tracks and other trace fossils from the Upper Cambrian of North Wales. *Geological Journal*, 7: 47-68.
- Crimes, T.P.; Legg, I.; Marcos, A & Arboleya, M. 1977. ?Late Precambrian-low Lower Cambrian trace fossils from Spain. In: CRIMES, T.P. & HARPER, J.C. (Eds.). *Trace fossils 2, Geological Journal Special Issue 9*. Liverpool, Seel House Press. P. 91-138.
- Desio, A. 1940. Vestigia problematica paleozoiche delle Libia. *Annali del Museo Libico di Storia Naturale*, 2: 47-92.
- Ehrenberg, K. 1944. Ergänzende Bemerkungen zu den seinerzeit aus dem Miozän von Burgschleinitz beschriebenen Gangkernen und Bauten dekapoder Krebse. *Paläontologische Zeitschrift*, 23: 354-359.

- Fernandes, A.C.S.; Borghi, L.; Carvalho, I.S & Abreu, C.J. 2002. *Guia dos icnofósseis de invertebrados do Brasil*. Rio de Janeiro, Editora Interciência. 260p.
- Fernandes, A.C.S. & Fonseca, V.M.M. 2005. A contribuição de Ignácio Aureliano Machado Brito à icnologia brasileira. *Arquivos do Museu Nacional*, 63(3): 619-624.
- Ferreira, C.S. & Fernandes, A.C.S. 1983. Notícias sobre alguns icnofósseis da Formação Pimenteira, Devoniano no Estado de Goiás. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro*, 55(1):140.
- Fillion, D. & Pickerill, R.K. 1984. On *Arthraria antiquata* Billings, 1872 and its relationship to *Diplocraterion* Torell, 1870 and *Bifungites* Desio, 1940. *Journal of Paleontology*, 58: 683-696.
- Gaillard, C. & Racheboeuf, P.R. 2006. Trace fossils from nearshore to offshore environments: Lower Devonian of Bolivia. *Journal of Paleontology*, 80: 1205-1226.
- Grahn, Y.; Young, C. & Borghi, L. 2008. Middle Devonian chitinozoan biostratigraphy and sedimentology in the eastern outcrop belt of the Parnaíba Basin, northeastern Brazil. *Revista brasileira de Paleontologia*, 11(3):137-146.
- Góes, A.M.O. & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8:57-67.
- Hall, J. 1847. *Palaeontology of New York. Vol. 1*. Albany, C. Van Benthuysen, 338 p.
- Hall, J. 1852. *Palaeontology of New York. Vol. 2*. Albany, C. Van Benthuysen, 358 p.
- Heer, O. 1877. *Flora fossilis Helvetiae. Die vorweltliche Flora der Schweiz*. Zürich, J. Wüster & Company, 182p.
- Kegel, W. 1961. Rasto de trilobita (?*Homalonotus*) do Devoniano Inferior do Piauí. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 33(2): 163-167.
- Kegel, W. 1966. Rastos do Devoniano da Bacia do Parnaíba. *Boletim Departamento Nacional da Produção Mineral*, 233: 1-32.
- Kingston, D.R.; Dishroon, C.P. & Williams, P.A. 1983. Global basin classification system. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 67(12): 2194-2198.
- Lermen, R.E. 2006. *Assinaturas icnológicas em depósitos glaciogênicos do Grupo Itararé no RS*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 84p.
- Linnarsson, J.G.O. 1869. On some fossils found in the Eophyton Sandstone, at Lugnts, in Sweden. *Geological Magazine*. 6: 393-406.
- MacEachern, J.A.; Pemberton, S.G.; Gingras, M.K; & Bann, K.L. 2007. The Ichnofacies Paradigm: A fifty-year retrospective. In: MILLER, W. C. (Ed.). *Trace Fossils, Concepts, Problems, Prospects*. Amsterdam, Elsevier, p. 52-77.

- MacEachern, J.A., Bann, K.L., Bhattacharya, J.P., & Howell, C.D. 2005. Ichnology of deltas: organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves, storms, and tides. In: GIOSAN, L. & BHATTACHARYA, J.P. (Eds). *River Deltas: Concepts, Models, and Examples: SEPM, Special Publication*, p. 49–85.
- Machado, L.G. & Vasconcellos. 2009. Novas ocorrências de restos vegetais na Formação Pimenteira (Bacia do Parnaíba, Devoniano) do Estado do Piauí. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA: A PALEONTOLOGIA E OS EVENTOS GLOBAIS. *Livro de Resumos*, Belém, p. 86.
- MacLay, W.S. 1839. Note on the *Annelida*. In: R. I. MURCHISON (Ed.), *The Silurian System, Pt. II*. London, J. Murray, p. 699-701.
- Mángano, M.G.; Buatois, L.A. & Guinea, F.M. 2005. Ichnology of the Alfarcito Member (Santa Rosita Formation) of northwestern Argentina: animal-substrate interactions in a lower Paleozoic wave-dominated shallow sea. *Ameghiniana*, 42: 641-668.
- Mángano, M.G.; Buatois, L.A.; West, R.R. & Maples, C.G. 1999. The origin and paleoecologic significance of the trace fossil *Asteriacites* in the Pennsylvanian of Kansas and Missouri. *Lethaia*, 32: 17-30.
- Mángano, M.G.; Buatois, L.A.; West, R.R. & Maples, C.G. 2000. A new species of *Nereites* from Carboniferous tidal-flat facies of eastern Kansas, USA – implications for *Nereites-Neonereites* debate. *Journal of Paleontology*, 74: 149-157.
- Mayer, G. 1954. Ein neues *Rhizocorallium* aus dem mittleren Hauptmuschelkalk von Bruchsal: Beiträge zur Naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland 13: 80-83.
- Myrow, P.M. 1995. *Thalassinoides* and the enigma of Early Paleozoic open-framework burrow systems. *Palaios*, 10: 58-74.
- Muniz, G.C.B. 1988. *Merostomichnites piauiensis* ichnosp. nov. do Devoniano do estado do Piauí (Membro Picos, Formação Pimenteira). *Estudos Pesquisas, Universidade Federal de Pernambuco*, 9: 49-53.
- d'Orbigny, A. 1842. *Voyage dans l'Amérique méridionale le Brésil, la République orientale de l'Uruguay, la République Argentine, la Patagonie, la République du Chili, la République de Bolivia, la République du Pérou exécuté pendant les années 1826, 1827, 1828, 1829, 1831, 1832 et 1833*. Strasbourg, Pitois-Leverault, Paris & Leverault. 3 (4) (Paléontologie), 188 p.
- Pemberton, S.G. & Frey, R.W. 1982. Trace fossil nomenclature and the *Planolites-Palaeophycus* dilemma. *Journal of Paleontology*, 56: 843-881.
- Pickerill, R.K. & Forbes, W.H. 1977. *Bifungites cf. halli* from the Ordovician (Caradocian) Trenton limestone of the Quebec City area. *Maritime Sediments*, 13: 87-92.
- Prantl, F. 1945. Dvě záhadné zkameněliny (stopy) z vrstev chrustenických-dě2. *Třída České Akademie*, 55(3): 3-8.
- Santos, M.E. C.M. & Carvalho, M.S. S. 2004. *Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luis: reconstituições paleobiológicas*. Rio de Janeiro, CPRM, 211p.

- Savdra, C.E. 2007. Taphonomy of Trace Fossils. In: MILLER, W.C. (Ed.). *Trace Fossils, Concepts, Problems, Prospects*. Amsterdam, Elsevier, p.92-109.
- Schindewolf, O.H. 1921. Studien aus dem Marburger Buntsandstein. *Senckenbergiana*, 3: 33-49.
- Seilacher A. 2007. *Trace Fossil Analysis*. Berlin, Springer Verlag, 226 p.
- Silva, A.J.P.; Lopes, R.C.; Vasconcelos, A.M. & Bahia, R.B.C. 2003. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C; VIDOTTI R. M.; & GONÇALVES J.H. (Eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, p. 55-85.
- Turner, B.R. & Benton, M.J. 1983. Paleozoic trace fossils from the Kufra Basin, Libya. *Journal of Paleontology*, 57(3): 447-460.
- Vaz, P.T.; Rezende, N.G.A.M.; Wanderley Filho, J.R. & Travassos, W.A. S. 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2): 253-263.
- von Fischer-Ooster, C., 1858. *Die fossilen Fucoiden der Schweizer Alpen: Nebst Erörterungen über deren geologisches Alter*. Bern, Huber. 72 p.
- von Schlotheim E.F. 1820. *Die Petrefactenkunde auf ihrem jetzigen Standpunkte durch die Beschreibung seiner Sammlung versteinerter und fossiler Überreste des Thier- und Pflanzenreichs der Vorwelt erläutert*. Gotha, Becker'sche Buchhandlung. 437p.
- Wetzel, A. & Bromley, R.G. 1994. *Phycosiphon incertum* revisited: *Anconichnus horizontalis* is junior subjective synonym. *Journal of Paleontology*, 68: 1396-1402.
- Wetzel, A. & Bromley, R.G. 1996. Re-evaluation of the ichnogenus *Helminthopsis* - A new look at the type material. *Paleontology*, 39(1): 1-19.
- Worsley, D. & Mørk, A. 2001. The environmental significance of the trace fossil *Rhizocorallium jenense* in the Lower Triassic of western Spitsbergen. *Polar Research*, 20: 37-48.
- Young, C.G.K. 2006. *Estratigrafia de alta-resolução da formação Pimenteira (Devoniano, bacia do Parnaíba)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 170 p.
- Young, C.G.K.; Borghi, L. & Fernandes, A.C.S. 2002. Icnofósseis na Formação Pimenteira (Devoniano, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. *Paleontologia em Destaque*, 40: 21.
- Zenker, J.C. 1836: *Historisch-topographisches Taschenbuch von Jena und seiner Umgebung*. Jena, Freidrich Frommann.

ANEXO I: RELAÇÃO DE EXEMPLARES UTILIZADOS

| Exemplar | Data de coleta | Procedência |
|-----------------|-----------------------|---|
| UFRJ-DG 237-Ic | 18-abr-03 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 238-Ic | 18-abr-03 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 249-Ic | 18-abr-03 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 250-Ic | 18-abr-03 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 252-Ic | 18-abr-03 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 307-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 308-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 309-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 312-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 313-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 315-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 319-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 320-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 321-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 323-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 55,2" / 42° 22' 2,2") |
| UFRJ-DG 333-Ic | 1-ago-04 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 41' 6,4" / 42° 23' 45,8") |
| UFRJ-DG 470-Ic | 13-mai-08 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 53" / 42° 22' 2,4") |
| UFRJ-DG 473-Ic | 13-mai-08 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 53" / 42° 22' 2,4") |
| UFRJ-DG 474-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 475-Ic | 14-mai-08 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 20' 16,6" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 476-Ic | 14-mai-08 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 20' 16,6" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 477-Ic | 14-mai-08 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 20' 16,6" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 478-Ic | 13-mai-08 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 53" / 42° 22' 2,4") |
| UFRJ-DG 479-Ic | 13-mai-08 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 53" / 42° 22' 2,4") |
| UFRJ-DG 480-Ic | 13-mai-08 | Coronel José Dias, BR-020, Piauí (8° 39' 53" / 42° 22' 2,4") |
| UFRJ-DG 483-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 485-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 486-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 487-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 488-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 499-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 500-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 501-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 502-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 503-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 505-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 506-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 507-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 509-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |
| UFRJ-DG 511-Ic | 13-mai-08 | São João do Piauí, BR-020, Piauí (8° 20' 26,3" / 42° 13' 36,5") |

