



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 551

**PALEOAMBIENTE E ICNOFÓSSEIS DO ARENITO GUAMÁ
(SILURIANO), REGIÕES DE SÃO MIGUEL DO GUAMÁ E
IRITUIA, ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada por:

TAYNARA CRISTINA MATOS MARTINS

Orientador: Prof. Dr. Joelson Lima Soares (UFPA)

**BELÉM
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M379p Martins, Taynara Cristina Matos
Paleoambiente e icnofósseis do arenito guamá (Siluriano),
regiões de São Miguel do Guamá e Irituia, estado do Pará / Taynara
Cristina Matos Martins. — 2019.
xiv, 38 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Joelson Lima Soares
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Siluriano. 2. Arenito Guamá. 3. Paleoambiente. 4.
Icnofósseis. I. Título.

CDD 558.115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**PALEOAMBIENTE E ICNOFÓSSEIS DO ARENITO GUAMÁ
(SILURIANO), REGIÕES DE SÃO MIGUEL DO GUAMÁ E
IRITUIA, ESTADO DO PARÁ**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
TAYNARA CRISTINA MATOS MARTINS**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA**

Data de Aprovação: 08 / 07 / 2019

Banca Examinadora:

Prof. Joelson Lima Soares
Orientador – UFPA

Prof. Sonia Maria Oliveira Agostinho da Silva
Membro – UFPE

Prof. Guilherme Raffaeli Romero
Membro - USP

À minha família.

AGRADECIMENTOS

À Deus por sempre me abençoar e guiar meus passos.

Aos meus pais Fátima e Cyla, por sempre acreditarem em meus sonhos e nunca terem deixado eu desistir.

Aos meus irmãos Tatiane e Eduardo, por todo o apoio e ajuda sempre.

À minha sobrinha Cecília, cunhada Betânia e sua família, especialmente D. Olinda pelas palavras de ajuda e força.

Ao meu orientador Professor Dr. Joelson Soares, por toda ajuda, conselhos e principalmente sua paciência

À Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, PPGG

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

A todos os colegas do Grupo de Análises de Bacias Sedimentares da Amazônia (Gsed)

Aos meus amigos que sempre foram meus companheiros: Isabelle Serrão, Acácio Pina e Natan Silva, Sâmia Vianna e Nayra Souza

Ao Afonso Quaresma, Guilherme e Hudson que deram um enorme apoio no campo.

RESUMO

O Arenito Guamá é uma unidade sedimentar que ocorre de forma muito restrita na Plataforma Bragantina, principalmente nas regiões de São Miguel do Guamá e Irituia no nordeste do estado do Pará e que ainda carece de um melhor detalhamento geológico. É caracterizado por espessas camadas de quartzo-arenito com granulometria média, bem arredondados, bem selecionada e alto grau de maturidade textural e composicional. Devido suas características petrográficas, faciológicas e seu conteúdo icnológico serem semelhantes aos dos arenitos quartzosos da Formação Nhamundá (Bacia do Amazonas), tem-se sugerido uma idade siluriana para o Arenito Guamá. Em geral as camadas de quartzo-arenitos apresentam aspecto maciço e poucas estruturas sedimentares primárias preservadas (e.x. estratificação cruzada acanalada, estratificação plano-paralela e laminação ondulada e planar). A associação de fácies indica que os depósitos estudados se formaram em uma região costeira arenosa que abrangia as zonas de *foreshore* e *shoreface*. No Arenito Guamá foram identificados as icnoespécies *Skolithos linearis*, *Psammichnites* isp., cf. *Schaubcylindrichnus coronus*, tubo vertical simples indeterminado e *Lingulichnus verticalis* que comumente compõem uma mistura das icnofácies *Cruziana* e *Skolithos*. Mudanças periódicas de energia e na taxa de sedimentação no ambiente deposicional são sugeridas pela distribuição regular entre *Skolithos* e *Psammichnites* nas camadas de arenito. *Skolithos* ocorrem em camadas geralmente maciças e podem alcançar 1 metro de comprimento indicando condições de alta energia e/ou altas taxas de sedimentação. Enquanto que *Psammichnites* ocorrem no topo destas camadas e sugerem energia menor e/ou baixa taxa de sedimentação. Os *Skolithos* exibem índice de bioturbação (ii) que varia entre 2 e 3 (5-40%). Os *Psammichnites* exibem ii entre 4 e 5, que indicam um retrabalhamento do substrato por organismos escavadores entre 40-100%. A baixa icnodiversidade e alta abundância de icnofósseis sugerem condições estressantes durante o período deposicional. A mistura das icnofácies *Skolithos-Cruziana* é comumente associada a ambientes marinhos costeiros de águas salobras. A razão para condições de estresse ambiental relacionado à presença de águas salobras poderia ser o influxo de águas de degelo em ambientes periglaciais. A possível correlação do Arenito Guamá com os depósitos silurianos da Formação Nhamundá suporta esta ideia, pois esta unidade exhibe depósitos glaciais, pós-

glaciais e costeiros que registram a glaciação siluriana do Gondwana. Dessa forma, pode-se argumentar que o Arenito Guamá é o registro de depósitos costeiros arenosos influenciados pelas glaciações que afetaram a região Amazônica durante o Siluriano Inferior.

Palavras-chave: Siluriano. Arenito Guamá. Paleoambiente. Icnofósseis.

ABSTRACT

The Guamá Sandstone is a restricted sedimentary unit that occurs in the Bragantina Platform, mainly in the São Miguel do Guamá and Irituia regions northeast of the state of Pará still needs a better geological detail. It is characterized by thick layers of well-rounded and selected, mature medium-grained quartz-sandstone with medium granulometry, well rounded, well selected and with high degree of textural and compositional maturity. Based on the petrographic, faciological and ichnological characteristics similar to the quartz sandstones of the Nhamundá Formation (Amazon Basin), a Silurian age for the Guamá Sandstone has been suggested. Commonly, the quartz-sandstone layers have a massive appearance and few preserved primary sedimentary structures (e.g., cross-stratified ribbed stratification, plane-parallel stratification and wavy and planar lamination). The facies association indicates that the studied deposits were formed in a sandy coastal region that covered the foreshore and shoreface zones. In the Guamá Sandstone the icnoespecies *Skolithos linearis*, *Psammichnites* isp., cf. *Schaubcylindrichnus coronus*, single vertical tube undetermined and *Lingulichnus verticalis* were identified, they commonly compose a mixture of the *Cruziana* and *Skolithos* ichnofacies. Periodic energy changes and sedimentation rate in the depositional environment are suggested by the regular distribution between *Skolithos* and *Psammichnites* in the sandstone layers. *Skolithos* occurs, generally, in massive layers and can reach up to 1 meter in length indicating high energy conditions and/or high sedimentation rates. While *Psammichnites* occur at the top of these layers and suggest lower energy and/or low sedimentation rate. *Skolithos* exhibit a bioturbation index (ii) ranging from 2 to 3 (5-40%). The *Psammichnites* exhibit ii between 4 and 5, which indicate a 40 to 100% reworking of the substrate by excavating organisms. The low ichnodiversity and high abundance of ichnofossils suggest stressful conditions during the depositional period. The mixture of *Skolithos-Cruziana* ichnofacies is commonly associated with coastal marine environments of brackish waters. The reason for environmental stress conditions related to the presence of brackish water could be the influx of melting/defrosting waters in periglacial environments. The correlation of the Guamá Sandstone with the Silurian deposits of the Nhamundá Formation supports this idea, as this unit exhibits glacial, post-glacial, and coastal deposits that record the

Silurian glaciation of Gondwana. Therefore, the Guamá Sandstone can be considered as the record of sandy coastal deposits influenced by the glaciations that affected the Amazon region during the Lower Silurian.

Key-words: Silurian. Guamá Sandstone. Paleoenvironment. Ichnofossils.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Área de estudo nos municípios de São Miguel do Guamá e Irituia; P1–
Cachoeira do Apolônio Miranda, P2-Rio Itaquiáçú no ramal da Pedreirinha,
P3-Frente do colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias (escola da
igreja), P4- Balneário da Vila da Pedra Caída, TS – Testemunho de
sondagem.....3
- Figura 2- Icnotaxobases utilizadas para classificação morfológica dos traços fósseis.
Fonte: Bromley (1996)6
- Figura 3- Terminologia para classificação estratinômica de traços fósseis conforme seu
modo de preservação. Fonte: Ekdale *et al.* (1984)6
- Figura 4- Principais grupos etológicos representados no registro de traços fósseis.
Fonte: Pemberton *et al.* (1992)7
- Figura 5- Representação das diferentes formas de distribuição dos níveis bioturbados ao
longo das camadas sedimentares ou de uma sucessão. Fonte: Gingras *et al.*
(2011)7
- Figura 6- Distribuição idealizada dos diferentes arquetípicos que compõem as icnofácies
mostrando uma relação passiva entre batimetria e o comportamento
representado pelo traço fóssil. A distribuição das icnofácies arquetípicas
está associada principalmente as fontes de alimentos, tamanho dos grãos e
disponibilidade de oxigênio. Fonte: Modificado de Seilacher (1967)
.....9
- Figura 7- Abordagem semiquantitativa de icnofábrica, indicando o índice de
bioturbação (ii) em diferentes níveis de profundidade e intensidade. Fonte:
Droser & Bottjer (1986)10
- Figura 8- Carta para avaliação semiquantitativa da distribuição de bioturbações utilizado
para obtenção do índice de bioturbação de planos de acamamento. Fonte:
Miller & Smail (1997)10

- Figura 9- Principais arcos estruturais que influenciaram na evolução tectônica do Atlântico Equatorial, originando às bacias da Foz do Amazonas (FA), Marajó (M: sub-bacia Maxiana; L: sub-bacia Limoeiro; C: sub-bacia Cametá), Bragança Viseu (BV), São Luis (SL), Ilha Nova (IN) e Barreirinhas (B), além da Plataforma Pará – Maranhão (PM). Fonte: Soares Jr. *et al.* (2011)12
- Figura 10- Visão geral dos afloramentos nas regiões estudadas. A) Afloramento na Vila da Pedra Caída, em Irituia; B) Camadas onduladas de arenito maciço em frente ao colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias; C) Afloramento no Rio Itaquiáçu no ramal da Pedreirinha exibindo arenitos maciços e bioturbados em camadas tabulares; e D) Lajedo de arenito maciço localmente bioturbado na Cachoeira do Apolônio Miranda.....15
- Figura 11- Perfis estratigráficos elaborados para o Arenito Guamá na região de Irituia, Vila da Pedra Caída (A- P3) e do testemunho de sondagem de São Miguel do Guamá (B- TS). Perfil do testemunho de sondagem baseado em Oliveira & Truckenbrodt (2019)16
- Figura 12- Associação de fácies AF: A) Fácies arenito com laminação ondulada e planar que mostram truncamentos de muito baixo ângulo (setas) que ocorrem intercalados com arenitos maciços; B) Detalhe da laminação ondulada na fácies Alb; C) Fácies de arenito maciço bioturbado com camadas maciças com o topo bioturbado por tubos horizontais, colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias; D) Fácies Arenito com estratificação cruzada acanalada.....19
- Figura 13- Fotomicrografias da fácies arenito maciço em testemunho de sondagem. A e B) Alguns constituintes detríticos como o quartzo policristalino e fragmentos de rochas metamórficas; C e D) Notar alguns contatos grão-não grão e constituintes diagenéticos como cimento de quartzo.....20

Figura 14- Traços fósseis do Arenito Guamá. A) Topo da camada de arenito densamente bioturbado por *Psammichnites isp* de formas meandranes e curvadas; B) Visão geral do afloramento com *Psammichnites isp*; C) Camada de arenito maciço com tubos verticais retilíneos de *Skolithos*; D) Tubos sub verticais simples de cf. *Schaubcylindrichnus coronus*; E) Tubos simples vertical indeterminado, e F) Tubos ramificados de *Lingulichnus verticalis*25

Figura 15- Icnofábrica das icnoespécies mais abundante indicando um índice de bioturbação variando entre ii 2 e 5. Os *Skolithos linearis* com índice de bioturbação entre ii 2 e 3 (0-40%); os *Schaubcylindrichnus coronus*; tubo vertical simples indeterminado e *Lingulichnus verticalis* possuem um índice de bioturbação ii 3 (10-40%); os *Psammichnites isp* icnofábrica (ii) igual a 5 (60-100%).....28

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS	2
1.3 OBJETIVOS	2
2 MÉTODOS	4
2.1 ANÁLISE FACIOLÓGICA	4
2.2 ICNOLOGIA	4
2.2.1 Icnotaxonomia, Etologia e Estratinomia	4
2.2.2 Icnofácies e Icnofábrica	8
3 PLATAFORMA BRAGANTINA	11
3.1 ASPECTOS TECTÔNICOS E GEOLÓGICOS	11
4 RESULTADOS	13
4.1 FÁCIES SEDIMENTARES	13
4.1.1 Associação de Fácies (AF) – <i>FORESHORE / SHOREFACE</i>	17
4.2 ICNOLOGIA	21
4.2.1 Icnologia Sistemática	21
4.2.2 Icnofácies E Icnofábrica	26
5 DISCUSSÃO	29

5.1 PALEOAMBIENTE.....	29
5.2 CORRELAÇÃO COM A FORMAÇÃO NHAMUNDÁ	30
6 CONCLUSÃO.....	32
REFERENCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O Arenito Guamá está inserido no contexto da Plataforma Bragantina, localizado no nordeste do estado do Pará, sendo caracterizado por espessas camadas de quartzarenito com alto grau de maturidade textural e composicional, e que geralmente apresenta aspecto maciço ou estratificação plano-paralela pouco expressiva (Oliveira & Truckenbrodt 2019, Truckenbrodt & Alves, 1982). Por ser um depósito ainda pouco estudado, a interpretação paleoambiental ainda é alvo de muitas dúvidas. Segundo Truckenbrodt & Alves (1982), as condições deposicionais que formaram o Arenito Guamá sugerem um ambiente costeiro de plataforma rasa (provavelmente *foreshore* ou *shoreface*) baseado na ocorrência do icnogênero *Skolithos*.

A natureza predominantemente siliciclásticas dos sedimentos, a ausência de corpos fósseis, ocorrência de afloramentos isolados e sem relações estratigráficas claras com as unidades adjacentes, além das poucas idades radiogênicas (Martins *et al.* 2007) dificultam a determinação da idade do Arenito Guamá. A provável idade siluriana ou eopaleozoica do Arenito Guamá, tem sido estabelecida com base em dados petrográficos (Truckenbrodt & Alves 1982) e nas semelhanças faciológicas com a Formação Nhamundá, da Bacia do Amazonas (Caputo 1984).

Os primeiros registros de icnofósseis no Arenito Guamá foram feitos por Truckenbrodt & Alves (1982) que descreveram três agrupamentos de bioturbações, identificando apenas o icnogênero *Skolithos*. Desde então, não foram mais identificados novos icnogêneros. Devido o aspecto geralmente maciço destes arenitos os trabalhos de cunho faciológico são raros, predominado os estudos petrográficos e de proveniência (Martins *et al.* 2007, Oliveira & Truckenbrodt 2019, Truckenbrodt & Alves 1982). Recentemente, a descoberta de novas ocorrências de icnofósseis nas regiões de São Miguel do Guamá e Irituia, além da presença de estruturas sedimentares bem preservadas forneceu a oportunidade para estudos paleoambientais mais detalhados.

1.2 ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS

Os principais afloramentos desta unidade ocorrem nas margens de rios e igarapés limitada entre as coordenadas latitudinais $1^{\circ}29'58.70''\text{S}$ e $1^{\circ}43'1.50''\text{S}$; e longitudinais $47^{\circ}34'44.12''\text{W}$ e $47^{\circ}23'58.50''\text{W}$, nos municípios de São Miguel do Guamá e Irituia, nordeste do Estado do Pará, sendo a maior exposição no balneário da Vila da Pedra Caída, região de Irituia, onde podem alcançar uma altura de até 18 m.

O acesso é feito a partir de Belém pela rodovia federal BR-316, passando pelos principais municípios da região metropolitana de Belém; até chegar à cidade de Santa Maria do Pará onde se acessa outra rodovia federal, BR-010, até a cidade de São Miguel do Guamá. Continuando pela BR-010 até a rodovia estadual PA-253 tem-se acesso a cidade de Irituia (Fig. 1).

Em Irituia, localizado a sul-leste do Rio Guamá, as principais exposições do Arenito Guamá ocorrem no balneário Vila da Pedra Caída. Em São Miguel do Guamá as principais exposições estão na frente do colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias (escola da igreja), no Rio Itaquiaçú no ramal da Pedreirinha e na Cachoeira do Apolônio Miranda aproximadamente a 2 km da BR-010.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos desta dissertação foram: 1) Descrever, classificar e interpretar icnotaxonomicamente os traços fósseis do Arenito Guamá; 2) Determinar o paleoambiente deposicional dos depósitos estudados com base na análise de fácies sedimentares e de traços fósseis e 3) Correlacionar as assembleias icnofossilíferas do Arenito Guamá e Formação Nhamundá.

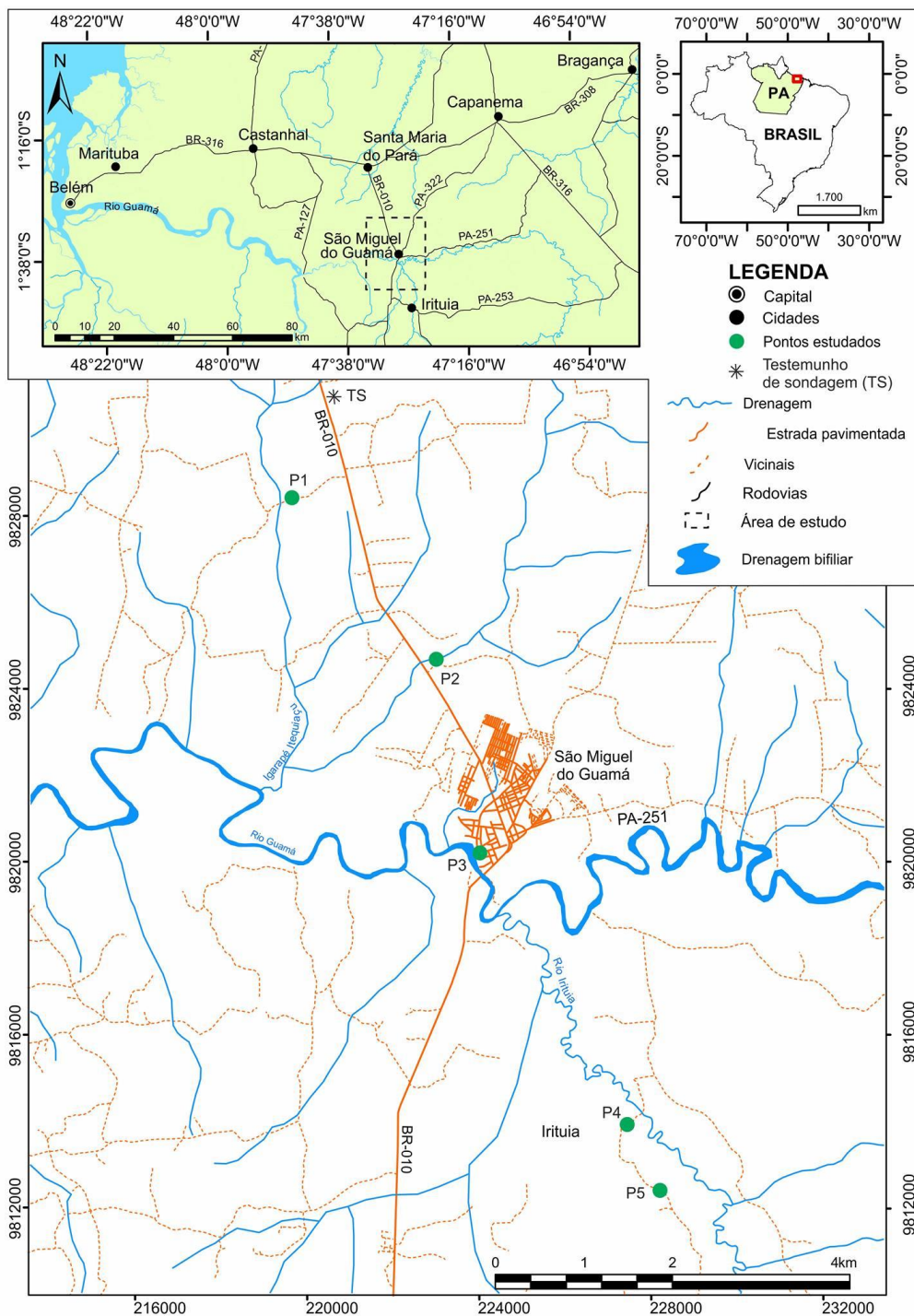


Figura 1- Área de estudo nos municípios de São Miguel do Guamá e Irituia; P1–Cachoeira do Apolônio Miranda, P2-Rio Itaquiáçu no ramal da Pedreirinha, P3-Frente do colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias (escola da igreja), P4- Balneário da Vila da Pedra Caída, TS – Testemunho de sondagem.

2 MÉTODOS

2.1 ANÁLISE FACIOLÓGICA

A análise de fácies foi realizada em quatro afloramentos visitados do Arenito Guamá, descrevendo suas principais estruturas sedimentares e ocorrência de traços fósseis. Foi utilizada a técnica de modelamento de fácies segundo Walker (1990, 1992) e Miall (1991, 1994) que consiste na individualização e descrição de fácies procurando caracterizar a composição, geometria, textura, estruturas sedimentares, conteúdo fossilífero e padrões de paleocorrente. Nesta etapa a compreensão dos processos sedimentares ajudaram em um melhor entendimento de formação desta fácies e posteriormente na associação de fácies cogenéticas e contemporâneas refletindo os diferentes ambientes deposicionais. O código das fácies seguiu a proposta de Miall (1977), no qual as fácies descritas são apresentadas com a primeira letra maiúscula indicando a litologia da rocha e a letra posterior por minúscula indicando a estrutura sedimentar mais importante. A partir dos dados de campo foram confeccionados perfis estratigráficos e seções geológicas. Os pontos visitados foram georreferenciadas utilizando o GPS (*Global Positioning System*) determinando as coordenadas geográficas. Estas coordenadas foram plotadas e analisada em um mapa de localização da área de estudo, fundamentada em imagens do GoogleEarth® que foram georreferenciadas no ArcGIS.

2.2 ICNOLOGIA

O estudo dos traços fósseis foi utilizado com a finalidade de auxiliar na interpretação dos paleoambientes, para isso foram descritas as principais feições morfológicas que classificam um icnogênero ou icnoespécie a partir de comparações com a literatura especializada.

2.2.1 Icnotaxonomia, Etologia e Estratinomia

É um método de classificação para os traços fósseis baseado em sua morfologia que admite apenas duas categorias taxonômicas em sua sistemática: icnogênero e icnoespécie. Para uma melhor descrição morfológica, foram usadas as icnotaxobases (Bromley 1996) que consistem na observação da forma geral que o traço fóssil

apresenta, como por exemplo: a) orientação no estrato; b) presença ou não de paredes e lineações; c) ramificações, que podem ser verdadeiras, falsas ou de interseção; e d) preenchimento, que pode ser passivo ou ativo (Fig. 2).

Além deste método, existem mais duas formas de classificação dos traços fósseis: o preservacional ou estratinômica e etológica. A classificação preservacional ou estratinômica leva em conta a distribuição vertical e horizontal dos icnofósseis (Fig. 3), considerando-os como estrutura sedimentar e seu posicionamento no substrato (Ekdale et al. 1984). Segundo a classificação de Martinsson (1970), os traços fósseis podem ser: *exichnia*, quando é preservado fora da camada hospedeira; *hypichnia*, traços preservados na base da camada; *endichnia*, traços preservados no interior da camada e *epichnia*, quando os traços fósseis estão preservados no topo da camada. Seilacher (1964), considera em sua classificação estratinômica os traços fósseis apenas como relevo cheio e semi-relevo que pode ser positivo ou negativo dependendo do posicionamento e preservação na camada analisada.

A classificação etológica é baseada no comportamento de um determinado organismo que produziu o traço fóssil (Fig. 4). Segundo Pemberton et al. (1992), existem vários grupos etológicos: *Agrichnia* (cultivo), *Repichnia* (locomoção), *Cubichnia* (repouso), *Fodinichnia* (alimentação), *Domichnia* (habitação), *Fugichnia* (escape), *Pascichnia* (pastagem), *Equilibrichnia* (equilíbrio), *Praedichnia* (predação), *Calichnia* (reprodução), *Chemichnia* (quimiosimbiose), *Digestichnia* (digestão), *Fixichnia* (fixação) e *Ecdysichnia* (muda).

A distribuição dos traços fósseis em níveis reflete o grau de estabilidade das condições físico-químicas em um ambiente sedimentar (Gingras et al, 2011). Estas distribuições podem ser classificadas como: 1) De forma homogênea, que sugerem que os traços fósseis são uniformemente distribuídos; 2) Esporadicamente Heterogênea, são usadas para a descrição da distribuição de traços fósseis que não são espacialmente previsíveis e 3) Regularmente Heterogênea, que sugerem que os traços fósseis estão concentrados ao longo de planos de acamamentos (Gingras et al. 2011) (Fig. 5).

ICNOTAXOBASES						
FORMA GERAL	LIMITE DA ESTRUTURA		RAMIFICAÇÃO	PREENCHIMENTO	TRILHAS	
Aspecto Morfológico	Sem Lineação		Verdadeira	Passivo		Impressões de patas
	Orientação no estrato	Com Lineação		Falsa	Ativo	
Interseção			Peletado	Nado		
		Filme Pelitico Parede delimitada Parede construída Parede c/ preenchimento zonado Parede / Limite ornamentada(o) Halo diagenético			Meniscado	

Figura 2- Icnotaxobases utilizadas para classificação morfológica dos traços fósseis. Fonte: Bromley (1996).

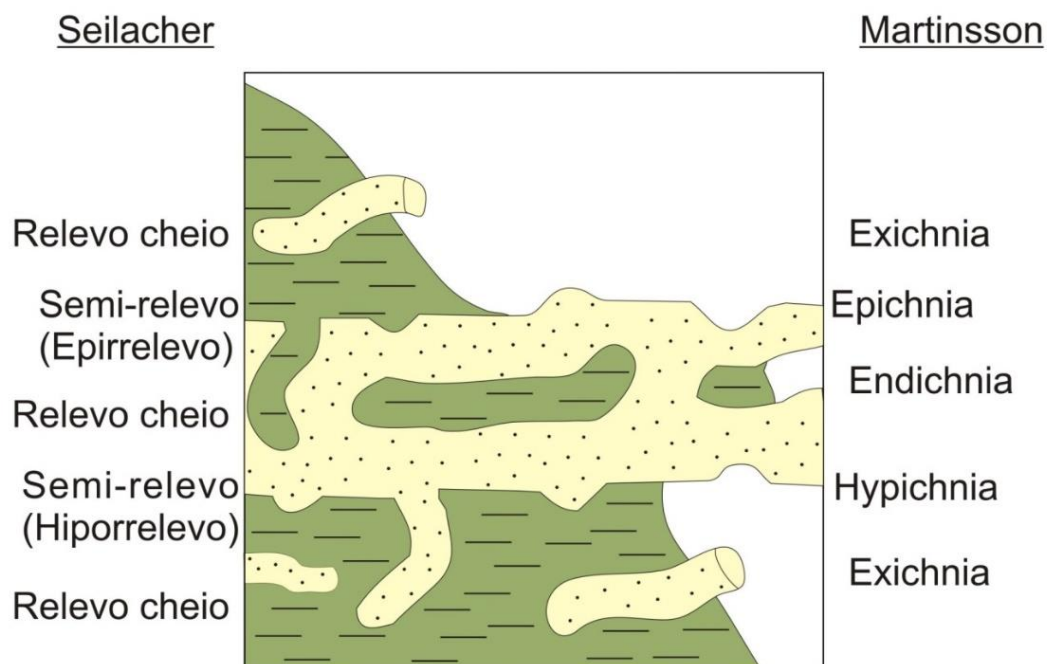


Figura 3- Terminologia para classificação estratinômica de traços fósseis conforme seu modo de preservação. Fonte: Ekdale et al. (1984).

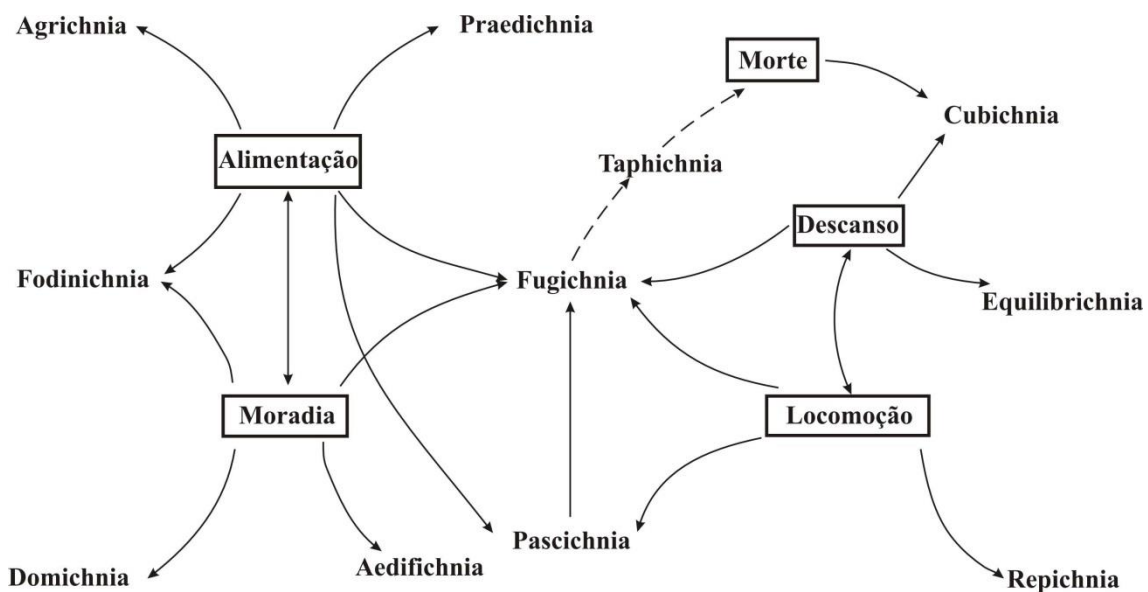


Figura 4- Principais grupos etológicos representados no registro de traços fósseis. Fonte: Pemberton *et al.* (1992)

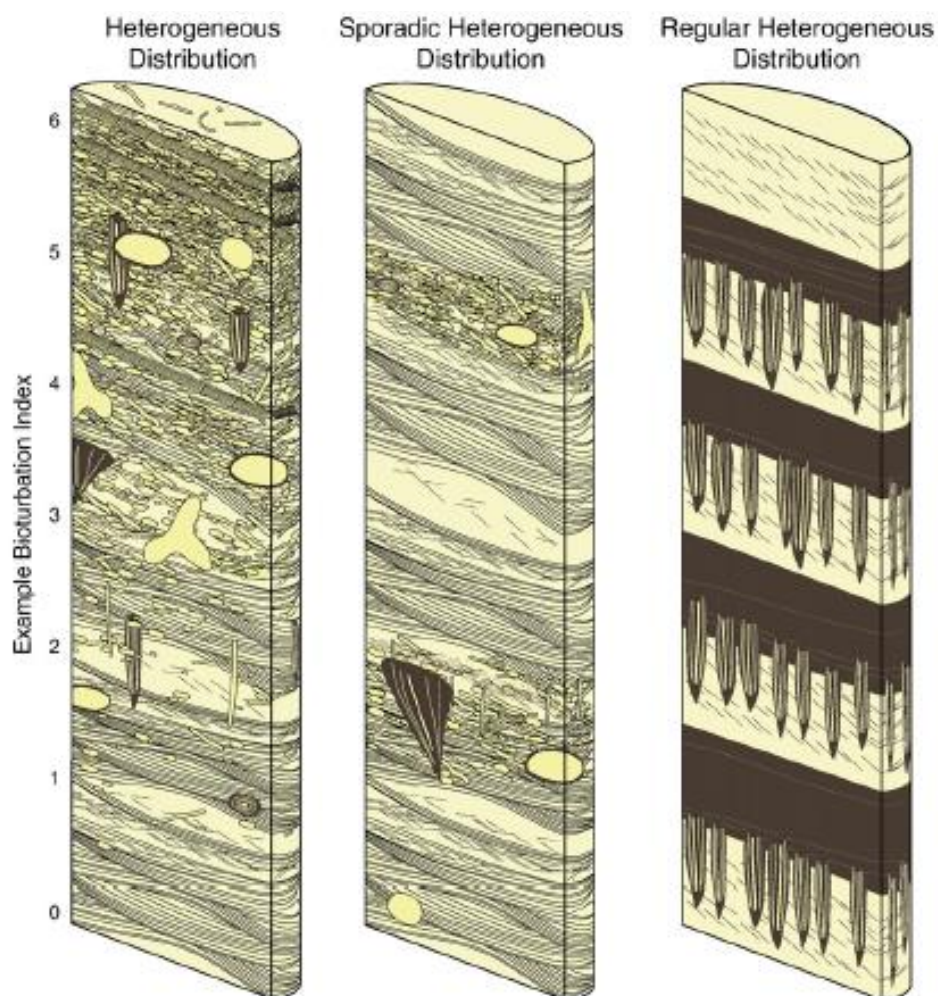


Figura 5- Representação das diferentes formas de distribuição dos níveis bioturbados ao longo das camadas sedimentares ou de uma sucessão. Fonte: Gingras *et al.* (2011).

2.2.2 Icnofácies e Icnofábrica

Após a classificação icnotaxonômica os traços fósseis foram agrupados em icnofácies com o objetivo de definir o paleoambiente no qual o organismo produtor habitava. Frey & Pemberton (1985) e Frey *et al.* (1990) afirmam que a icnofácies é a icnocenose preservada, podendo assim indicar as atividades e comportamentos dos organismos. Fernandes *et al.* (2002) denomina icnocenose as estruturas biogênicas que representam uma associação de icnofósseis baseado nas atividades bentônicas de uma biocenose. Assim, a icnocenose é a base para a definição das icnofácies (Netto 2001).

A icnofácies representa a junção de icnofósseis e icnofábricas produzidos por diversos organismos em um mesmo contexto deposicional (Netto 2001, Carvalho & Fernandes 2004). Esta representa um conjunto de atividades desenvolvidas por organismos em resposta aos parâmetros ecológicos atuantes no meio e responsáveis pela distribuição da fauna bentônica no substrato (Netto 2001). O principal fator que determina esta distribuição é a energia, pois uma energia mais alta determina uma produção de tocas verticalizadas com paredes edificadas em substrato arenoso. Já uma energia mais baixa favorece o desenvolvimento de construções horizontalizadas, mais permanentes e em forma de galerias (Netto 2001).

A análise de icnofácies considera o tamanho dos grãos, fonte de alimento, disponibilidade de oxigênio (indicando uma relação direta da batimetria e o comportamento do organismo), salinidade, taxa de sedimentação, energia, temperatura e consistência do substrato (Frey *et al.* 1990, MacEarchern *et al.* 2010, Gingras *et al.* 2011) (Fig. 6).

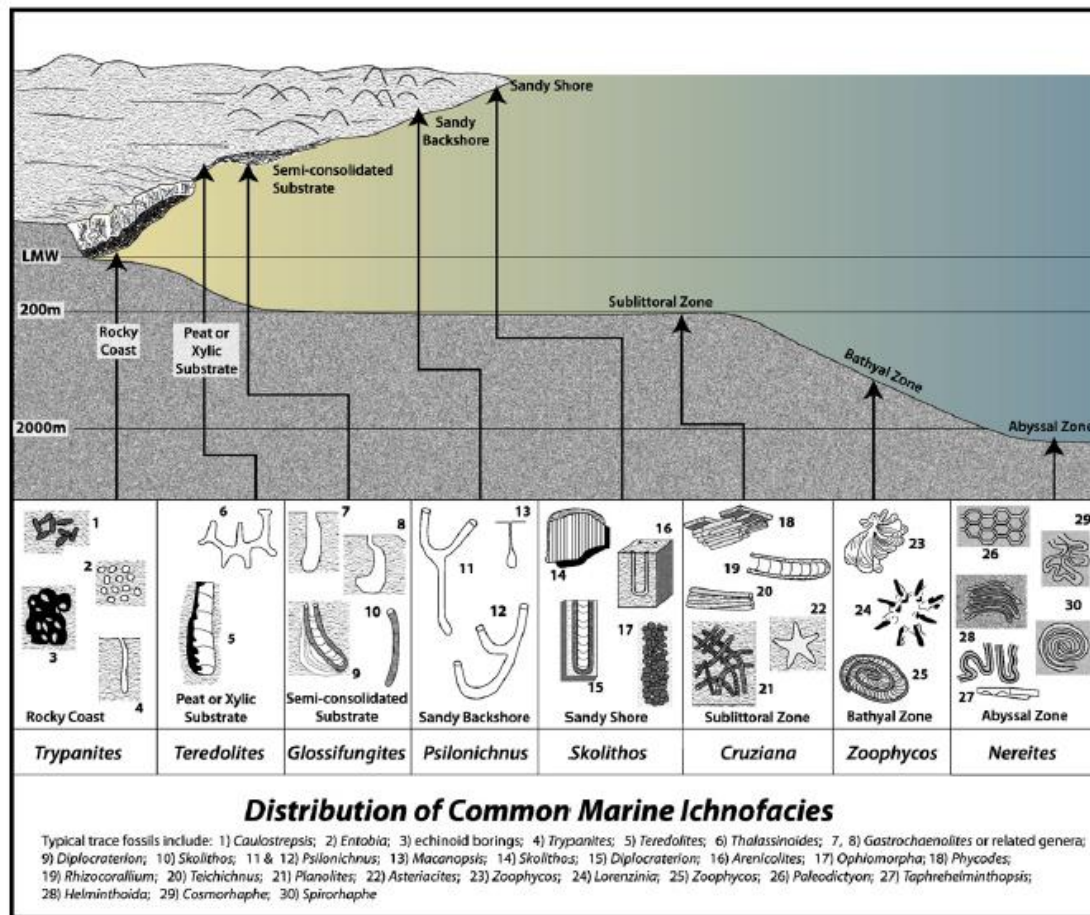


Figura 6- Distribuição idealizada dos diferentes arquetípicos que compõem as icnofácies mostrando uma relação passiva entre batimetria e o comportamento representado pelo traço fóssil. A distribuição das icnofácies arquetípicas está associada principalmente as fontes de alimentos, tamanho dos grãos e disponibilidade de oxigênio. Fonte: Modificado de Seilacher (1967).

Na análise semiquantitativa das icnofábricas foram utilizados os trabalhos de Droser & Bottjer (1986) e Miller & Smail (1997) que levam em conta a quantidade de substrato retrabalhado pelos organismos. O método de Droser & Bottjer (1986) considera a bioturbação em diferentes níveis de profundidade, chamados de *tiering*, e sua intensidade (Fig. 7), enquanto que o método semiquantitativo de Miller & Smail (1997) avalia a quantidade de bioturbação observada em planta, denominado de índice de bioturbação de planos de acamamento (*bedding-plane bioturbation index* – BPBI) (Fig. 8). O BPBI é determinado através da análise de fotografias de áreas bioturbadas observadas em planta. Estes índices de icnofábricas (ii) são determinados como: I) índice ii = 1, sem bioturbação; II) ii = 2, 0-10% de bioturbação; III) ii = 3, 10-40%; IV) ii = 4, 40-60% e V) ii = 5, 60-100%.

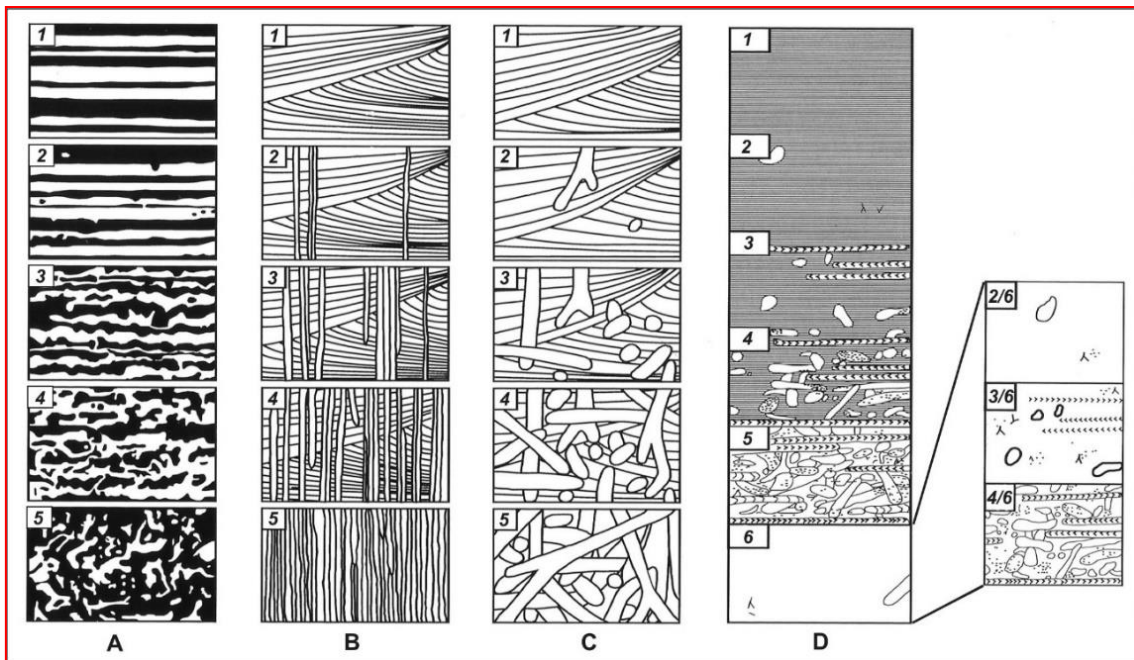


Figura 7- Abordagem semiquantitativa de icnofábrica, indicando o índice de bioturbação (ii) em diferentes níveis de profundidade e intensidade. Fonte: Droser & Bottjer (1986)

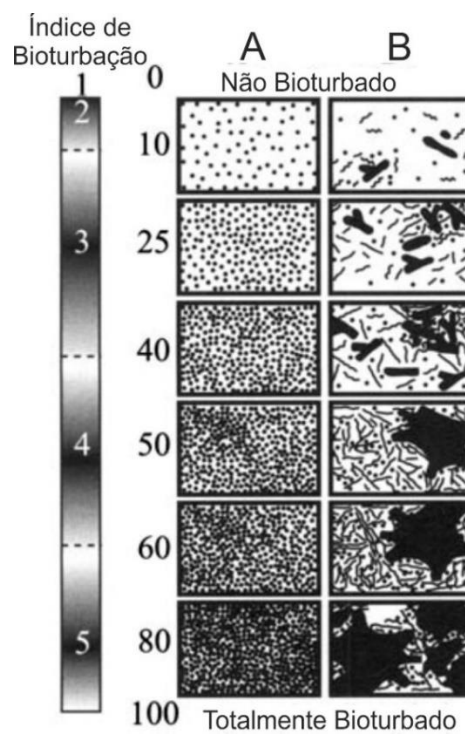


Figura 8- Carta para avaliação semiquantitativa da distribuição de bioturbações utilizado para obtenção do índice de bioturbação de planos de acamamento. Fonte: Miller & Smail (1997).

3 PLATAFORMA BRAGANTINA

3.1 ASPECTOS TECTÔNICOS E GEOLÓGICOS

Um complexo conjunto de bacias foi originado durante o Neotriássico ao Eocretáceo na margem atlântico equatorial por três frentes distensivas, durante a fragmentação do Gondwana. O primeiro evento no Neotriássico deu origem ao Graben Calçoene, que possui natureza transtensiva, com falhas normais de direção NNW-SSE com mergulho para ENE, abrigando rochas vulcânicas e vulcano-sedimentares (Soares *et al.* 2011, Soares *et al.* 2008); o segundo evento ocorreu no Cretáceo e originou o Graben Cassiporé da Bacia da Foz do Amazonas, que possui rochas vulcânicas e sedimentos de origem fluvial, deltaica e lacustre (Figueiredo *et al.* 2007) apresentando uma estruturação de falhas de direção NW-SE e N-S e o surgimento das bacias do Marajó, Bragança-Viseu, São Luís, Ilha Nova e Barreirinhas no Aptiano (Costa *et al.* 2002; Figueiredo *et al.* 2007; Zalán 2007); e o terceiro evento entre o Neocretáceo e o Neógeno, relacionado a movimentos extensionais da placa Sul-Americana, de direção NW-SE originando a Bacia Pará-Maranhão (Costa *et al.* 2002).

Segundo Amorim (2016), durante o Cenozoico a região equatorial norte do Brasil passou por um período estável tectonicamente, onde foram depositados os sedimentos das plataformas Bragantina e do Pará entre as bacias mesozoicas. A Plataforma Bragantina é constituída de dois setores: setor leste limitado pela Bacia de Bragança-Viseu e pela Faixa Gurupi a leste; setor oeste limitado pela Sub-bacia de Cameté, integrante da Bacia do Marajó, a sul. Estes setores são separados pelo Graben Vigia-Castanhal (Rossetti 2001). A Plataforma do Pará abrange a porção leste da Ilha do Marajó, estendendo-se costa a fora, onde é interceptada pela Fossa Vigia-Castanhal (Rossetti 2006) (fig. 9).

A Plataforma Bragantina tem como principais depósitos as formações Pirabas, Barreiras e a unidade Pós-Barreiras. A Formação Pirabas apresenta uma predominância de depósitos carbonáticos fossilíferos de idade Mioceno, aflorando na região litorânea do norte do Brasil, sendo interpretados como ambiente de plataforma externa, plataforma restrita/laguna, *shoreface/foreshore* e de mangue; localizados especificamente no estado do Pará e Maranhão (Rossetti *et al.* 2013). A Formação Barreiras são depósitos siliciclásticos de idade Mioceno que afloram em grande parte do

litoral brasileiro, interpretadas como produtos de leques aluviais e de amplas planícies entrecortadas por canais de maré (Rossetti 2001).

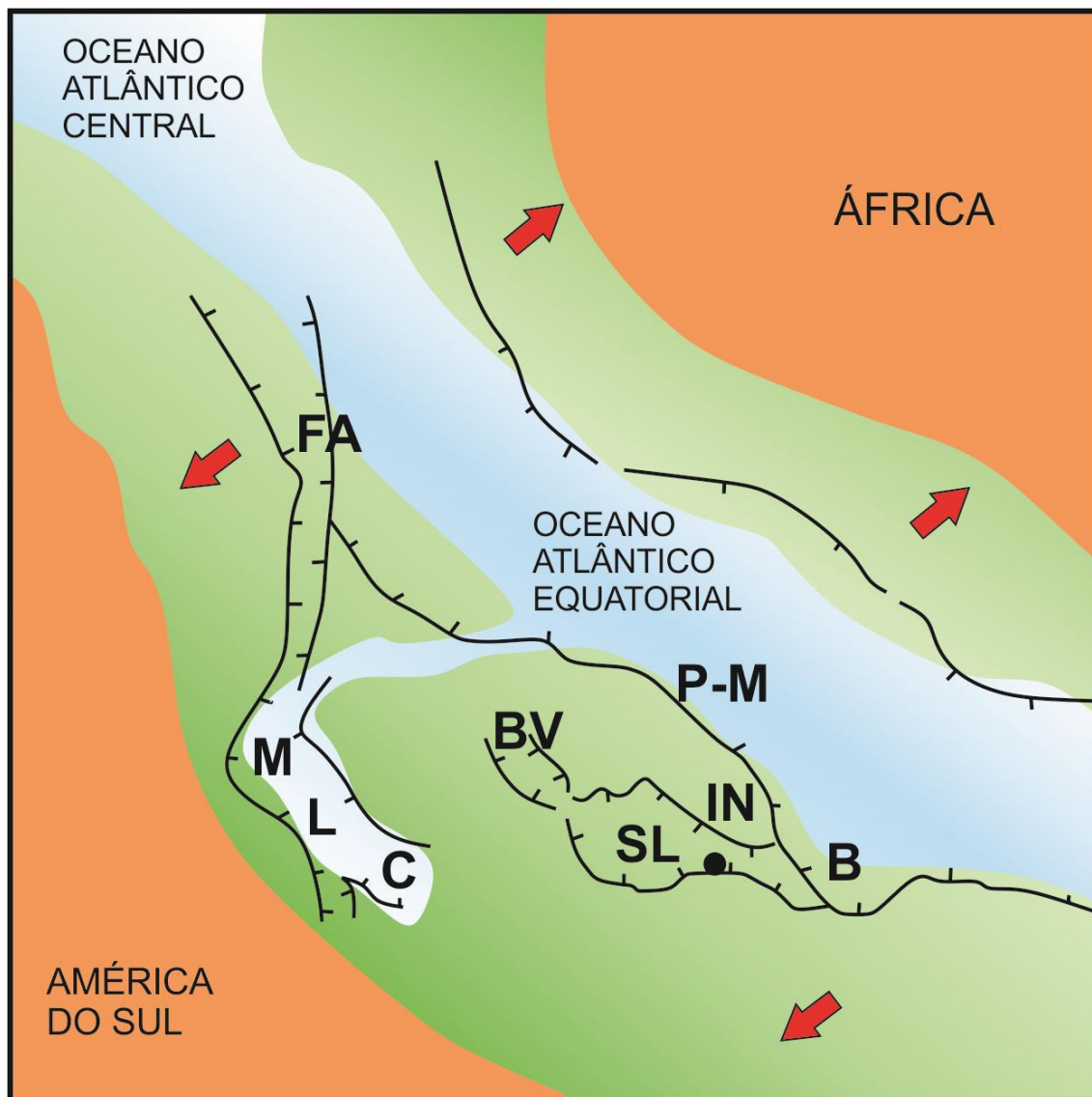


Figura 9- Principais arcos estruturais que influenciaram na evolução tectônica do Atlântico Equatorial, originando às bacias da Foz do Amazonas (FA), Marajó (M: sub-bacia Maxiana; L: sub-bacia Limoeiro; C: sub-bacia Cametá), Bragança Viseu (BV), São Luís (SL), Ilha Nova (IN) e Barreirinhas (B), além da Plataforma Pará – Maranhão (PM). Fonte: Soares Jr. *et al.* (2011).

4 RESULTADOS

4.1 FÁCIES SEDIMENTARES

Foram visitadas quatro localidades, sendo uma na cidade de Irituia, na Vila da Pedra Caída e três em São Miguel do Guamá, sendo um em frente ao colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias, o outro localizado no Rio Itaquiáçu no ramal da Pedreirinha e o último na Cachoeira do Apolônio Miranda (Fig. 10). Os dados faciográficos e petrográficos publicados de um testemunho de sondagem localizado a 6 km ao norte da sede do município de São Miguel do Guamá com 50 metros de profundidade foram incluídos nesse trabalho para auxiliar nas interpretações paleoambientais (Oliveira & Truckenbrodt 2019).

Ao total foram descritas seis fácies sedimentares que compõem uma associação de fácies representando um paleoambiente *foreshore/shoreface* (Tabela 1). As fácies apresentam aspectos texturais e composicionais semelhantes entre si como predominância de quartzo-arenitos com granulometria média, bem selecionados e bem arredondados. Os arenitos são comumente maciços, porém estruturas sedimentares como laminações onduladas, planar e estratificação cruzada tabular são observadas localmente. A geometria das camadas, em sua maior parte, é tabular, e localmente apresentam geometria ondulada com truncamentos.

No afloramento na Vila da Pedra Caída, em Irituia, estão expostos corpos tabulares de aproximadamente 18 metros de espessura e continuidade lateral de dezenas de metros presente nas margens do rio Guamá (Fig. 10A). As fácies descritas neste afloramento são principalmente de arenitos maciços com bioturbações intercalados com arenitos com laminações onduladas e planar também bioturbados. Na base do perfil ocorrem arenitos com estratificação cruzada acanalada. No afloramento em frente ao colégio Externato Maria Zacarias, em São Miguel do Guamá, estão expostos corpos tabulares em forma de lajedo, com aproximadamente 5 metros de espessura e que localmente apresentam também geometria ondulada (Fig. 10B). As fácies descritas nesse afloramento são principalmente arenitos com estratificação cruzada acanalada e arenitos maciços com bioturbações horizontais.

Nos afloramentos localizados no Rio Itaquiáçu no ramal da Pedreirinha e na Cachoeira do Apolônio Miranda, em São Miguel do Guamá, apresentam características semelhantes entre si. Os depósitos formam corpos tabulares que afloram nas margens de

igarapés, encontrados em forma de lajedo. No Rio Itaquiáçu as exposições podem chegar a 6 metros de espessura e são caracterizadas por arenito maciço com bioturbações e arenito com laminação ondulada e planar (Fig. 10C). Na Cachoeira do Apolônio Miranda as camadas de arenito formam extensos lajedos e corredeiras, a espessura das camadas não foi estimada e a única fácies descrita foi a de arenito maciço com bioturbações (Fig. 10D). O Arenito Guamá do testemunho de sondagem é caracterizado pela predominância de arenitos maciços bioturbados, arenitos com laminação planar, arenitos com estratificação cruzada e conglomerados observados na base do testemunho, porém algumas dessas fácies não foram observadas nos afloramentos estudados (Oliveira & Truckenbrodt 2019) (Fig.11). Dessa forma, considerando a profundidade do testemunho e a espessura do maior afloramento estudado pode-se estimar que a espessura total do Arenito Guamá na Plataforma Bragantina é de aproximadamente 70 metros. Contudo, o testemunho de sondagem não alcançou o embasamento e, portanto, o Arenito Guamá pode ser ainda mais espesso (Oliveira & Truckenbrodt 2019).



Figura 10- Visão geral dos afloramentos nas regiões estudadas. A) Afloramento na Vila da Pedra Caída, em Irituia; B) Camadas onduladas de arenito maciço em frente ao colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias; C) Afloramento no Rio Itaquiáçu no ramal da Pedreirinha exibindo arenitos maciços e bioturbados em camadas tabulares; e D) Lajedo de arenito maciço localmente bioturbado na Cachoeira do Apolônio Miranda.

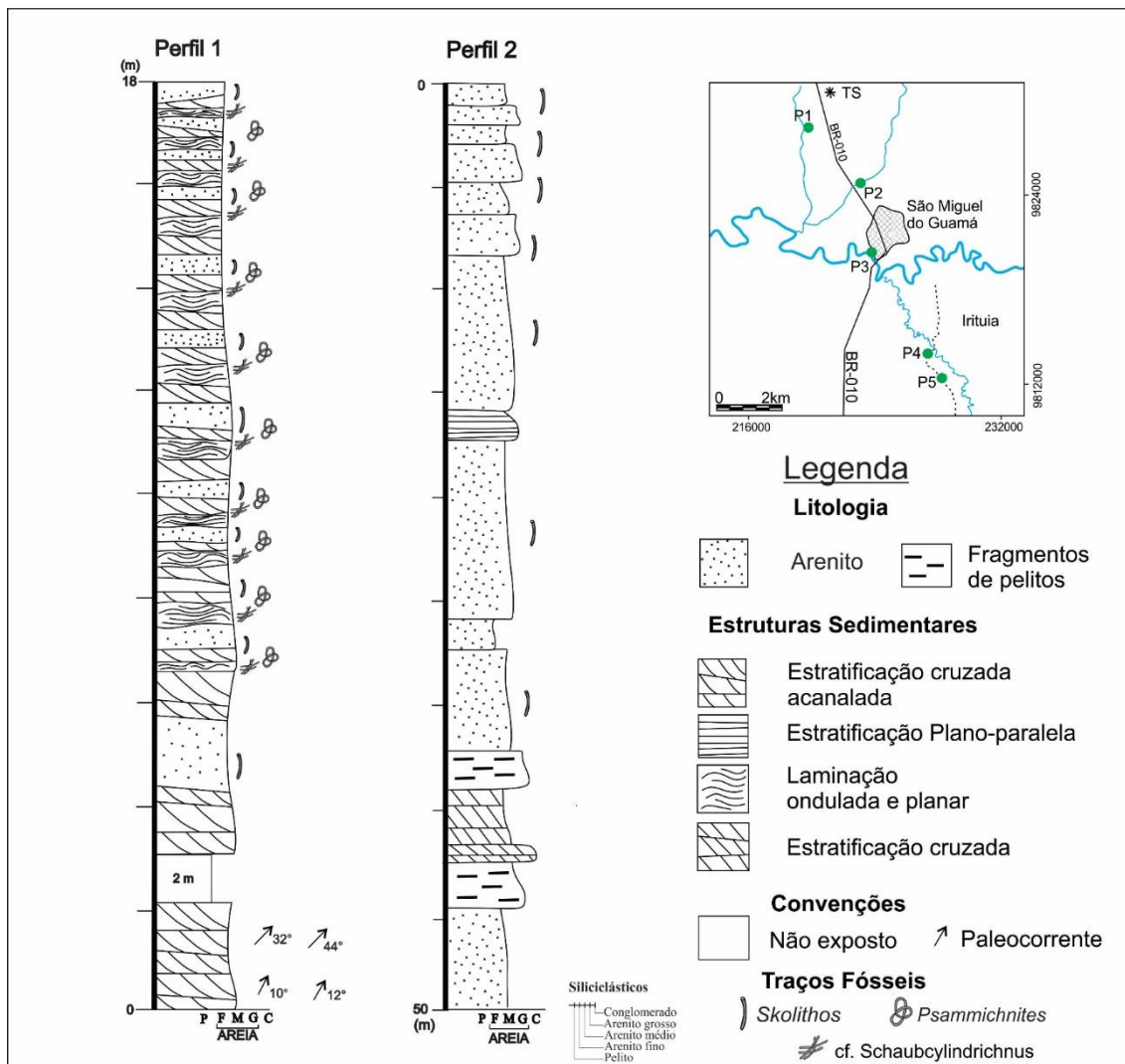


Figura 11- Perfis estratigráficos elaborados para o Arenito Guamá na região de Irituia, Vila da Pedra Caída (A- P3) e do testemunho de sondagem de São Miguel do Guamá (B- TS). Perfil do testemunho de sondagem baseado em Oliveira & Truckenbrodt (2019)

Fácies	Descrição	Processos
Arenito com estratificação cruzada acanalada (Aa)	Camadas de quartzo-arenito esbranquiçada com até 1 m de espessura, apresentando estratificação cruzada acanalada com areia grossa no <i>foreset</i> ; grânulos e seixos dispersos. Paleocorrentes para nordeste.	Migração de forma de leito 3D em regime de fluxo inferior, sob fluxo unidirecional.
Arenito maciço com bioturbações (Amb)	Camadas de quartzo-arenito esbranquiçado de aspecto maciço com até 1,85 m de espessura e bioturbações horizontais e verticais que ocorrem no topo e dentro das camadas, respectivamente. Os tubos horizontais são de <i>Psammichnites isp.</i> e os tubos verticais são de <i>Skolithos linearis</i> , <i>Schaubcylindrichnus coronus</i> e <i>Lingulichnus verticalis</i> .	Deposição em condições de alta energia e elevada taxa de sedimentação com colonização por organismos que fugiam do soterramento. Esporádicas paradas na sedimentação possibilitavam a ocupação do substrato por organismos vermeformes na interface-água sedimento originando tubos horizontais.
Arenito com laminação ondulada e planar (Alb)	Camadas de quartzo-arenito esbranquiçada com até 1,85 m de espessura. Apresenta laminação ondulada e planar.	Deposição em leito plano sob regime de fluxo superior com influencias de fluxo oscilatório.
Conglomerado com estratificação cruzada (Cc)	Camada de conglomerado apresentando estratificação cruzada.	Deposição em condições de alta energia com concentração de seixos no leito.
Arenito com estratificação plano-paralela (App)	Camada de quartzo-arenito, com granulometria média bimodal apresentando estratificação plano-paralela.	Deposição em leito plano em regime de fluxo inferior.

4.1.1 Associação de Fácies (AF) – *FORESHORE / SHOREFACE*

A Associação de Fácies (AF) consiste em um agrupamento de camadas de quartzo-arenito com granulometria média, bem selecionado e bem arredondado que compõem camadas de cor esbranquiçada (Fig. 12). As camadas têm aspecto maciço, bioturbações verticais e horizontais e estruturas como estratificação cruzada, plano-

paralela e laminação ondulada e planar. É composta pelas fácies, arenito com laminação ondulada e planar (Alb) (Fig. 12A e B), arenito maciço com bioturbações (Amb) (Fig. 12C), conglomerado com estratificação cruzada (Cc) e arenito com estratificação plano-paralela (App). arenito com estratificação cruzada acanalada (Aa) (Fig. 12D).

Os depósitos de *foreshore* são caracterizados por camadas tabulares da fácies Alb que apresenta laminação ondulada e planar levemente inclinados formando truncamentos de baixo ângulo. As laminações onduladas são caracterizadas por estruturas geralmente simétricas com crista suave. Truncamentos de muito baixo ângulo são observados separando os *sets*. Esta fácies encontra-se intercalada com a fácies Amb que é caracterizada por arenitos médios maciços como bioturbações verticais endociais identificadas como icnogêneros *Psammichnites* e *Skolithos*. No topo das camadas ocorrem bioturbações horizontais classificadas como *Schaubcylindrichnus*.

Quartzo-arenitos com laminações onduladas a planares sugere deposição em leito plano sob regime de fluxo superior com influências de fluxo oscilatório (Reineck & Singh 1975). As laminações levemente inclinadas e com truncamentos de baixo ângulo sugerem deposição em superfícies inclinadas (Reineck & Singh 1975). Os truncamentos de muito baixo ângulo refletem pequenas descontinuidades erosivas que separam os *sets*. Arenitos com laminações onduladas e planas são geralmente abundantes em praias ou áreas expostas a ação de ondas (Reineck & Singh 1975; Della Fávera 2001). Arenitos maciços podem ser formados por diferentes processos deposicionais e pós-deposicionais entre eles, deposição rápida, bioturbação, fluidificação/liquefação, além de alterações durante a diagênese e intemperismo (Reineck & Singh 1975). A presença abundante de traços fósseis na fácies Amb indica que a bioturbação é a principal responsável pela ausência de estruturas primárias.

Os depósitos de *shoreface* são caracterizados pela fácies Aa que exibe areia grossa no *foreset* e grânulos e seixos dispersos. Os grãos de areia grossa dos *foresets* são subarredondados a subangulosos e de composição quartzosa. Os grânulos e seixos são geralmente oblatos e de composição quartzosa. Este material se concentra principalmente no limite entre *foresets* e o *bottomset*. Os dados de paleocorrente para NE apontando áreas fontes em direção à região sudoeste. Estratificação cruzada acanalada é formada pela migração de forma de leito 3D em regime de fluxo inferior. Os grãos de areia grossa que se concentram na base dos *foresets* são originados pelo processo de avalanche que ocorre na frente de dunas subaquosas relacionados a

variações de energia durante o transporte. A predominância de grãos de quartzo bem selecionados e bem arredondados sugere uma alta maturidade composicional e textural comumente encontrada em regiões costeiras.

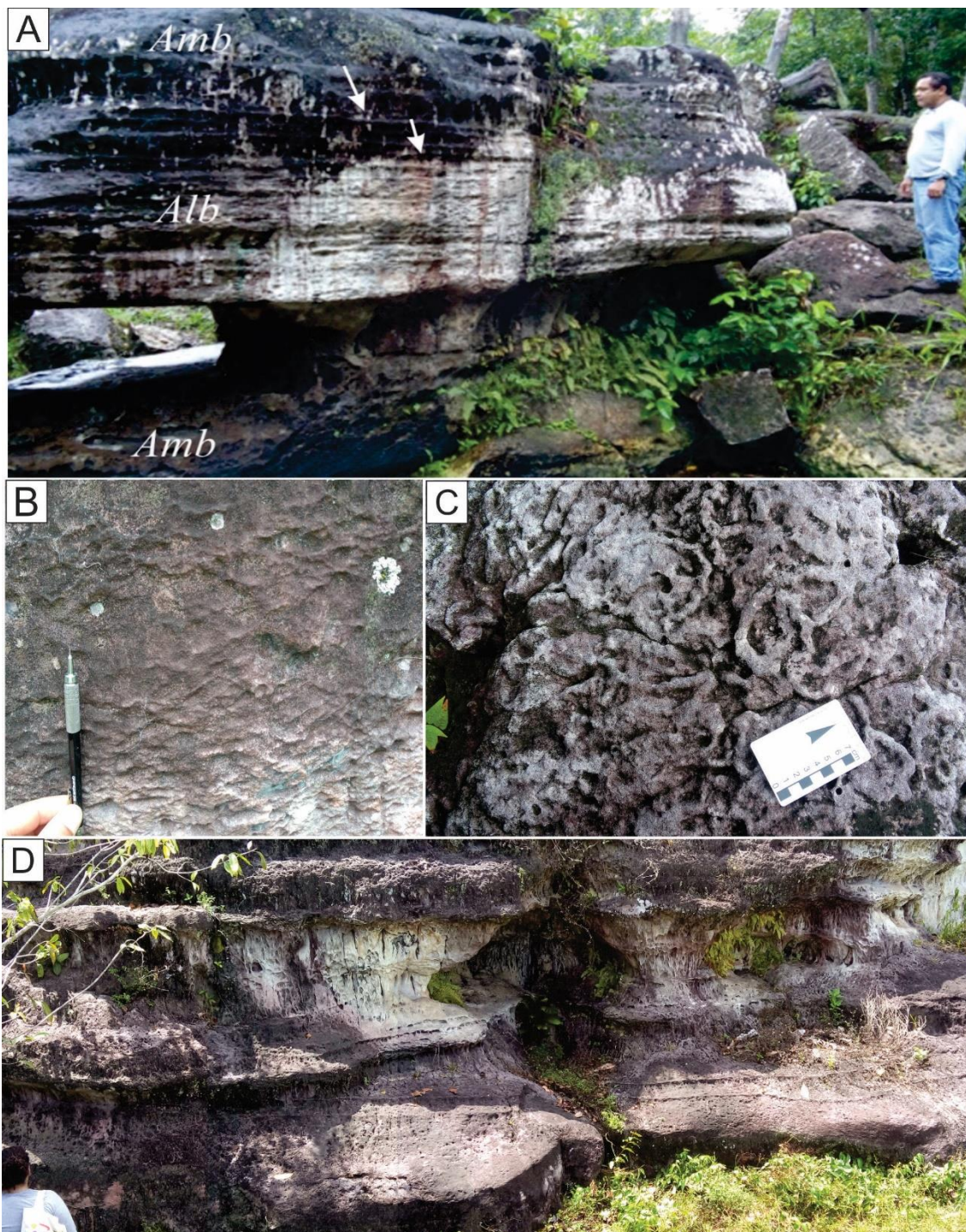


Figura 12- Associação de fácies AF: A) Fácies arenito com laminação ondulada e planar que mostram truncamentos de muito baixo ângulo (setas) que ocorrem intercalados com arenitos maciços; B) Detalhe da laminação ondulada na fácies Alb; C) Fácies de arenito maciço bioturbado com camadas maciças com o topo bioturbado por tubos horizontais, colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias; D) Fácies Arenito com estratificação cruzada acanalada.

Os arenitos em geral, são caracterizados por grãos de quartzo de granulometria média bem selecionado. Apresenta grãos de quartzo monocristalino com extinção homogênea e policristalino (Fig 13A e B); localmente ocorrem fragmentos de grãos metamórficos com cristais internos orientados. Os contatos entre os grãos são em sua maior parte contatos pontuais e de compromisso (Fig.13C e D).

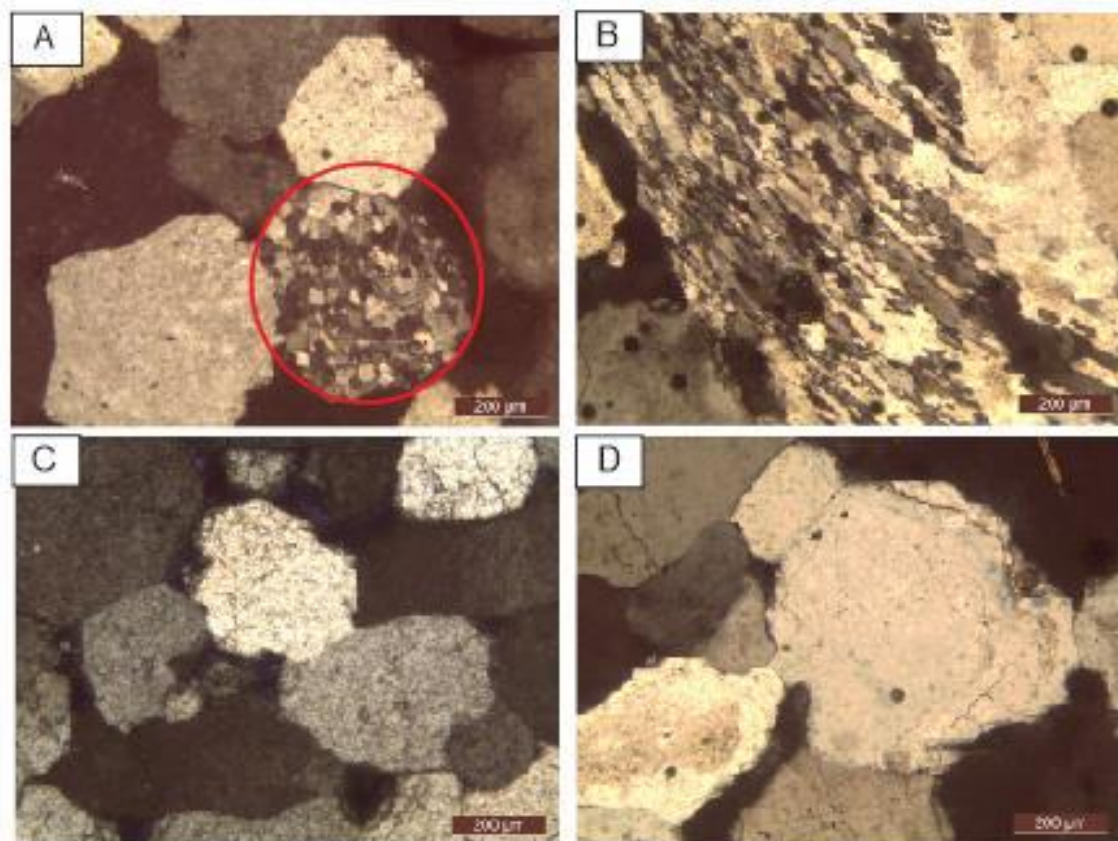


Figura 13- Fotomicrografias da fácies arenito maciço em testemunho de sondagem. A e B) Alguns constituintes detríticos como o quartzo policristalino e fragmentos de rochas metamórficas; C e D) Notar alguns contatos grão-não grão e constituintes diagenéticos como cimento de quartzo.

4.2 ICNOLOGIA

Os icnofósseis encontrados no Arenito Guamá ocorrem principalmente na fácies arenito maciço e esporadicamente na fácies arenito com laminação ondulada a planar. Estas estruturas biogênicas são visíveis tanto no topo das camadas como internamente. Cinco espécies principais são observadas: 1) Tubos verticais simples com *spreite* concêntrico côncavo de *Lingulichnus verticalis*; 2) Traços horizontais meandantes interpretados como *Psammichnites isp.*; 3) Traços subverticais simples de cf. *Schaubcylindrichnus coronus*; 4) Tubos verticais de *Skolithos linearis* e 5) Tubos verticais simples indeterminados.

4.2.1 Icnologia Sistemática

Icnogênero *Psammichnites* Torrell, 1870

Psammichnites isp

Figura 14A e B

Espécimes: Foram descritos vários espécimes na Vila da Pedra Caída, no colégio Externato Santo Antônio Maria Zacarias e no Rio Itaquiaçú, ramal da Pedreirinha.

Descrição: Estruturas horizontais, cilíndricas, meandantes, geralmente formando *loops*, e preservadas em epirrelevo convexo. Alguns traços exibem uma estrutura dorsal media pouco desenvolvida. Traços mais curtos podem apresentar formas retilíneas ou curvadas. As paredes dos tubos são lisas e o preenchimento apresenta granulometria muito mais fina que da rocha hospedeira (areia média). O diâmetro dos tubos varia entre 0,8 e 1 cm e o comprimento é variado.

Observações: *Psammichnites* é o registro das atividades de alimentação (*fodinichnia*) de um animal em subsuperfície usando um dispositivo semelhante a um sifão (Mángano *et al.* 2002a), como gastrópodes ou algum animal vágil que vive em subsuperfície como vermes anelídeos e crustáceos (Mángano *et al.* 2002b, Seilacher 2007). Assim, *Psammichnites* representaria o preenchimento ativo de sedimentos por um organismo que constrói tubos efêmeros durante o seu deslocamento intraestratal ao se alimentar (Mángano *et al.* 2002a). O sedimento que preenche os tubos representa sedimento processado pelo organismo, especialmente pela atividade de organismos endolíticos sedimentívoros (Seilacher 2007). Atualmente existem 4 icnoespécies de *Psammichnites*

diferenciadas geralmente pela forma da estrutura dorsal média: *P. plummeri*, *P. gramula*, *P. gigas* e *P. implexus*. Conforme Mángano *et al.* (2002b) *P. gramula* exibe a estrutura dorsal somente localmente. Contudo, devido a estrutura dorsal média dos espécimes estudados ser rara ou mal preservada não foi possível classificar a icnoespécie. Em geral, *Psammichnites* ocorrem em depósitos de ambientes marinhos rasos e de intermaré de idade entre Cambriano e o Carbonífero (Álvaro & Vizcaino 1999, Mángano *et al.* 2002a, b).

ICNOGÊNERO *Skolithos* Haldeman, 1840

Skolithos linearis (Haldeman, 1840)

Figura 14C

Espécimes: Foram descritos vários espécimes na Vila da Pedra Caída, na Cachoeira do Apolônio Miranda e no Rio Itaquiáçu, ramal da Pedreirinha.

Descrição: Estruturas verticais, cilíndricas e retilíneas preservadas de forma endicnial. As paredes são lisas e sem ornamentações e o preenchimento é passivo do tipo *downward advection* e similar ao da rocha hospedeira. O diâmetro dos tubos é de 1 cm e o comprimento varia conforme a espessura da camada, podendo chegar a 1 metro de comprimento.

Observações: *Skolithos* são considerados tubos de habitação (*domichnia*) de organismos sedentários que se alimentam de material em suspensão como foronídeos e anelídeos poliquetas (Osgood 1970). A densidade dos tubos está relacionada a variações na taxa de deposição (Alpert 1974). A densidade de traços fósseis do icnogênero *Skolithos* variando de baixa a moderada ($i = 3-4$) nos arenitos estudados o que sugere sedimentação rápida e contínua (McIlroy & Garton 2004). O longo comprimento vertical dos *Skolithos* (~1m) indica que os organismos que produziram esses traços fósseis estavam constantemente fugindo do soterramento devido às altas taxas de sedimentação (*Fugichnia*). O preenchimento do tipo *downward advection* é gerado pelo colapso de material arenoso inconsolidado que se encontra na saída dos tubos (Buatois & Mángano 2011).

ICNOGÊNERO *Schaubcylindrichnus* Frey & Howard, 1981

cf. *Schaubcylindrichnus coronus* (Miller, 1995)

Figura 14D

Espécimes: Foram descritos 4 espécimes na Cachoeira do Apolônio Miranda.

Descrição: Tubos caracterizados por escavações subverticais, cilíndricas, retilíneas a levemente inclinadas e sem *spreite*. Preservada de forma endicnial com parede delimitada e sem ramificação. Seu comprimento é de aproximadamente 10 cm e diâmetro de 1,5 cm. O preenchimento dos tubos é maciço e de mesmo material da rocha hospedeira. Alguns espécimes quando observados em planta exibem formas que variam de circulares a achatadas com diâmetro de 1 cm.

Observações: *Schaubcylindrichnus* é um tubo de habitação (*domichnia*)/alimentação (*fodinichnia*) gerados por organismos vermeforme que se alimentam de matérias em suspensão. A ausência de conexão entre os tubos distingue *Schaubcylindrichnus* de outros tubos “*bundled*” tais como *Phycodes*, *Lanicoidichnia* e *Teichichnus* (Frey & Howard 1981). A congruência, orientação e espaçamento (aglomeração) de tubos distinguem-no dos espécimes de *Skolithos*, *Terebellina* e *Sabellarifex* (Frey & Howard 1981). O arranjo dos tubos de *Schaubcylindrichnus* e sua ocorrência na forma de discretos aglomerados indica uma relação genética próxima entre esses componentes, já que bifurcações e interconexões são raras ou ausentes (Frey e Howard 1981). *Schaubcylindrichnus coronus* é a única icnoespécie válida atualmente (Löwemark & Nara 2010). *S. coronus* apresenta morfologia em três partes diferentes: um feixe de tubos de linhas grossas convergentes construídas uma depois da outra, um funil de alimentação conectado a uma terminação do tubo e um montículo fecal em outra terminação do tubo (Nara 2006). Estas feições associadas à presença de paredes espessas e lisas sugere que *Schaubcylindrichnus* são estruturas de habitação. Para Nara (2006) e Löwemark & Hong (2006) a variação de tamanho dentro de um único traço, sugere que o organismo formador estava em constante crescimento e não por organismos que habitavam o mesmo ambiente. Estes tubos seriam formados provavelmente por vermes poliquetas suspensívoros e sedimentofagos (Howard & Frey 1973). *Schaubcylindrichnus* são encontrados em depósitos de ambientes costeiros de alta energia (Frey & Pemberton 1991, Nara 2006).

Tubo vertical simples indeterminado

FIGURA 14E

Espécimes: Foram descritos dois espécimes na Vila da Pedra Caída, na Cachoeira do Apolônio Miranda e no Rio Itaquiaçú, ramal da Pedreirinha.

Descrição: Tubos subverticais, levemente curvados, cilíndricos, sem ornamentações ou ramificações; preservado de modo epicnial. Sua parede é lisa, sem estrutura com preenchimento maciço e a mesma composição da rocha hospedeira. Possui diâmetros variados ao longo do tubo sempre próximo a 1 cm e o comprimento é de 20 cm.

Observações: Tubos verticais são estruturas biogênicas muito comuns em depósitos costeiros arenosos e são geralmente produzidos por organismos vermeformes, moluscos, crustáceos e vários outros animais de hábito principalmente suspensívoro. Geralmente estes traços são atribuídos ao icnogênero *Skolithos*, contudo os espécimes descritos são levemente curvados e exibem diferentes espessuras ao longo do tubo.

ICNOGÊNERO *Lingulichnus* Hakes, 1976

Lingulichnus verticalis (Hakes, 1976)

FIGURA 14F

Espécimes: Foram identificados 10 espécimes concentrados em uma camada de arenito na Cachoeira do Apolônio Miranda.

Descrição: Tubos verticais, cilíndricos, retilíneos a suavemente inclinados ou sinuosos preservados em forma endicnial; exhibe raros intercruzamentos. Em seção perpendicular apresentam formas elípticas. Os tubos exibem aproximadamente 15 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro. O preenchimento é semelhante à rocha hospedeira. Alguns espécimes exibem *spreite* côncavo.

Observações: *Lingulichnus* é interpretado como tubos de habitação (*domichnia*), locomoção (*repichnia*) ou relacionado a variações na taxa de sedimentação (*equilibrichnia*), produzidos por braquiópodes *Lingulidae* (Hakes 1976, Szmuc *et al.* 1976, Zonneveld *et al.* 2007). Existem 3 icnoespécies de *Lingulichnus*: *L. verticalis*, *L. inclinatus* e *L. hamatus* (Zonneveld & Pemberton 2003). *L. verticalis* é caracterizado por tubos verticais simples, retilíneos a suavemente sinuosos e que exibem *spreite* côncavo e concêntrico. *L. inclinatus* é diferenciado de *L. verticalis* por sua orientação oblíqua ao acamamento. *L. hamatus* é caracterizado por tubos em forma de U e J. Assim, a partir das feições morfológicas dos traços fósseis encontrados no Arenito Guamá é possível classifica-los como *L. verticalis*. Zonneveld *et al.* (2007) interpretam *L. verticalis* como tubos *domichnia* ou *equilibrichnia*. Atualmente, os lingulídeos habitam tocas cobertas de muco em sedimentos inconsolidados com a extremidade anterior de suas conchas apontado para cima, geralmente no mesmo nível da interface

água-sedimento, e o pedículo ancorando-o ao substrato, sendo os tubos produzidos semelhantes aos de *L. verticalis* e *L. inclinatus* (Thayer & Steele-Petrovic 1975, Zonneveld & Pemberton 2003, Zonneveld *et al.* 2007). Os raros tubos de *L. verticalis* que exibem *spreite* concêntrico e sinuosidade podem ter sido produzidos através de ajuste ascendente em resposta ao constante soterramento (Zonneveld *et al.* 2007). *Lingulichnus* são comumente encontrados associados a depósitos marinhos costeiros influenciados por tempestades ou maré de idade entre Cambriano ao Triássico (Hakes 1976, Szmuc *et al.* 1976, Zonneveld & Pemberton 2003, Zonneveld *et al.* 2007).

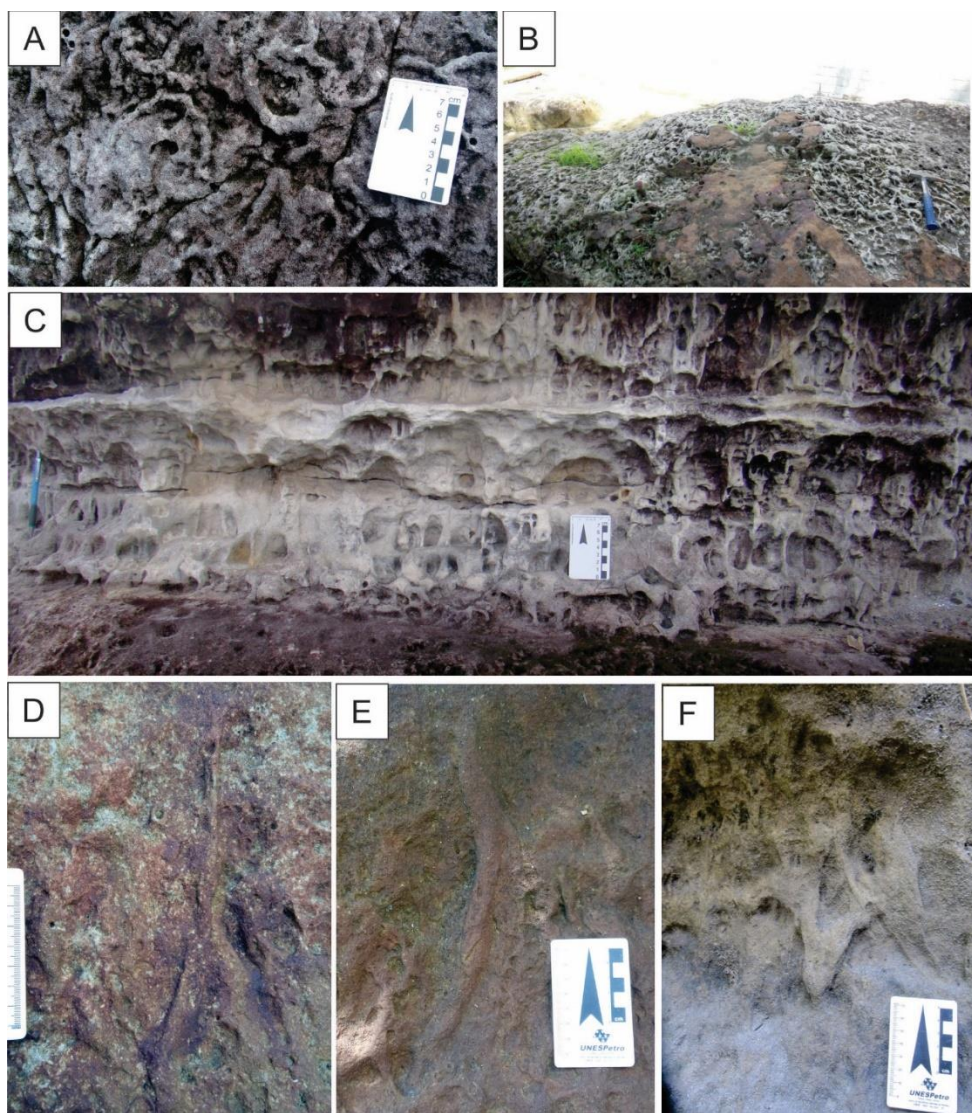


Figura 14- Traços fósseis do Arenito Guamá. A) Topo da camada de arenito densamente bioturbado por *Psammichnites isp* de formas meandrantas e curvadas; B) Visão geral do afloramento com *Psammichnites isp*; C) Camada de arenito maciço com tubos verticais retilíneos de *Skolithos*; D) Tubos sub verticais simples de cf. *Schaubcylindrichnus coronus*; E) Tubos simples vertical indeterminado, e F) Tubos de *Lingulichnus verticalis*

4.2.2 Icnofácies E Icnofábrica

Nos depósitos estudados foram identificadas assembleias icnofossilíferas com elementos típicos das icnofácies *Cruziana* e *Skolithos* que são comumente associadas a ambientes marinhos costeiros (Seilacher 1967, Pemberton & Frey 1984, MacEachern & Pemberton 1992, Pemberton *et al.* 1992). A presença de camadas com abundantes traços fósseis verticais representados por *Skolithos linearis*, *Lingulichnus verticalis*, *Schaubcylindrichnus coronus* e tubos verticais indeterminados que são geralmente substituídos em direção ao topo por camadas densamente bioturbadas por tubos horizontais de *Psammichnites isp* indicam mudanças periódicas na energia do ambiente e na forma de disponibilidade de alimento (Netto 2001). Durante períodos de maior energia e alimento disponível em suspensão foram gerados os tubos de *Skolithos linearis* e *S. coronus*, enquanto que durante pausas ou redução na taxa de sedimentação e aumento da disponibilidade de alimento no substrato foram gerados os traços de *Psammichnites isp*. A presença de *L. verticalis* e *S. linearis* também refletem variações na taxa de sedimentação e/ou erosão que exigiu a reconstrução frequente das aberturas e reposicionamento da escavação no substrato (Buatois & Mángano 2011, Netto 2001, Fernandes *et al.* 2007).

A distribuição regular, porém heterogênea, das camadas bioturbadas (traços fósseis verticais ou horizontais) limitadas por camadas sem bioturbação no Arenito Guamá sugere períodos de colonização do substrato intercalados com condições deposicionais menos favoráveis para os organismos infaunais, que pode estar associado à variação regular dos parâmetros físico-químicos do local (Gingras *et al.* 2011). Em geral as camadas bioturbadas apresentam um grau de bioturbação muito alto com pouca preservação das estruturas primárias, porém a icnodiversidade continua baixa. Ambientes deposicionais que são caracterizados por tais condições são geralmente influenciados por ciclos climáticos de longa duração e/ou mudanças sazonais/anuais (Gingras *et al.* 2011).

No afloramento da Vila da Pedra Caída esta distribuição é mais evidente. Os *Psammichnites isp* se concentram no topo das camadas bioturbadas e exibem uma alta densidade de tubos com índices de icnofábrica (ii) igual a 5, que indicam um retrabalhamento do substrato por organismos escavadores entre 60-100%. Em outras localidades as camadas bioturbadas por *Psammichnites isp* apresentam ii entre 4 (40-

60%) e 5. Os *Skolithos linearis* ocorrem dentro das camadas bioturbadas é o índice de bioturbação varia entre ii 2 e 3 (Fig. 15). A associação entre *Skolithos linearis* e *Psammichnites isp* é observada também no topo das camadas, onde é possível visualizar tubos de *Skolithos linearis* intersectando tubos de *Psammichnites isp*. *L. verticalis* e *S. coronus* ocorrerem isolados ou associados a *S. linearis* em camadas bioturbadas de outras localidades com índice de bioturbação também entre ii 2 e 3.

Esta associação permite interpretar as feições como uma mistura das icnofácies *Skolithos-Cruziana* sugerindo ambientes deposicionais estáveis de águas salobras que geralmente estão associados com ambientes de estuários (Ekdale *et al.* 1984, Netto & Rossetti 2003, Pemberton *et al.* 1992). Contudo, características semelhantes também são encontradas em depósitos costeiros marinhos influenciados por águas de degelo, onde a mistura de água doce de degelo e marinha causam variações de salinidade e afetam a vida bentônica (Sarkar *et al.* 2009, Alonso-Muruaga *et al.* 2013).

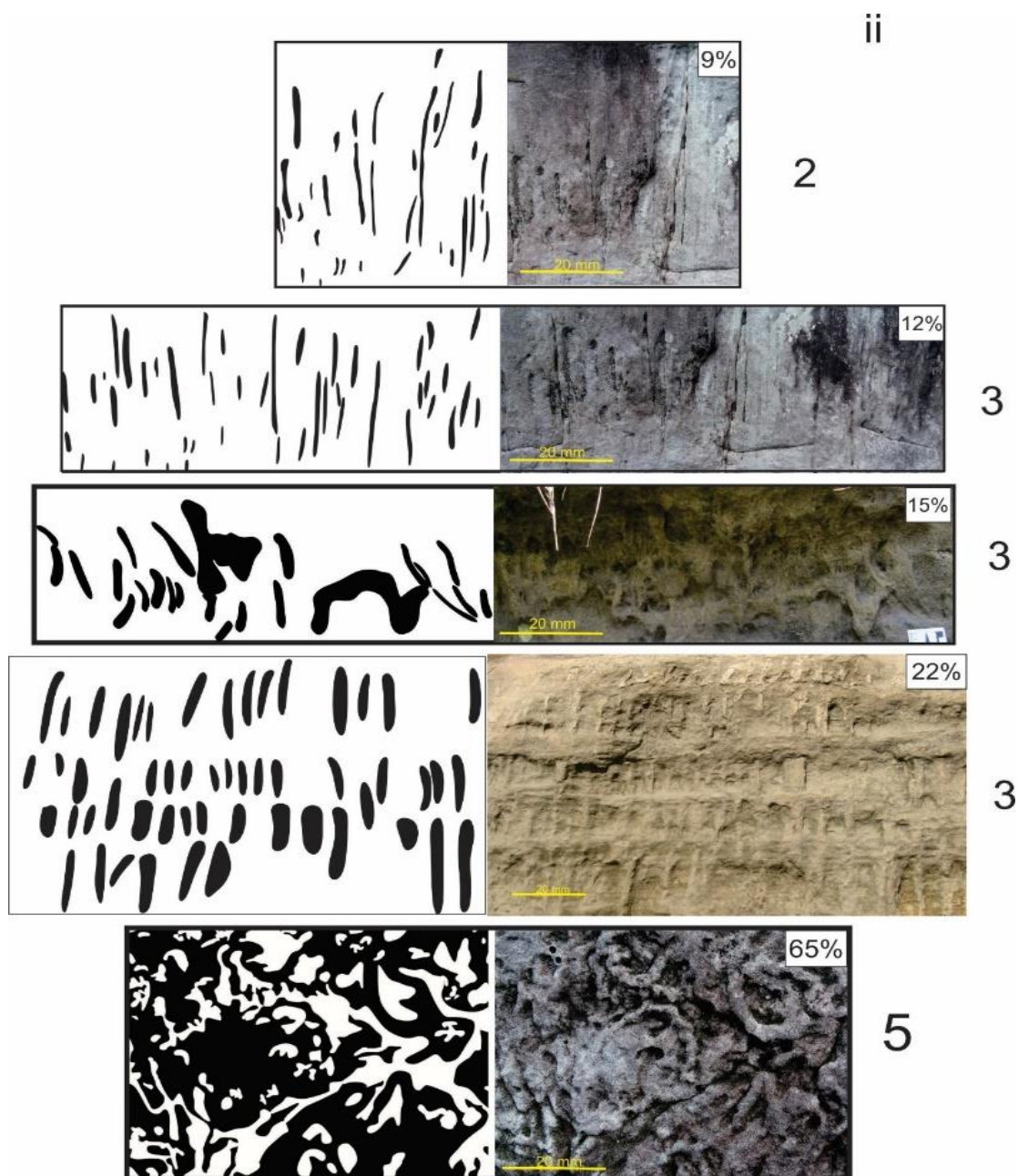


Figura 15- Icnofábrica das icnoespécies mais abundante indicando um índice de bioturbação variando entre ii 2 e 5. Os *Skolithos linearis* com índice de bioturbação entre ii 2 e 3 (0-40%); os *Schaubcylindrichnus coronus*, *Lingulichnus verticalis* e tubos verticais indeterminados possuem um índice de bioturbação ii 3 (10-40%); os *Psammichnites isp* icnofábrica (ii) igual a 5 (60-100%).

5 DISCUSSÃO

5.1 PALEOAMBIENTE

Os depósitos do Arenito Guamá são tradicionalmente interpretados como o registro de ambientes costeiros, mais precisamente nas zonas de *foreshore* e *shoreface* (Oliveira & Truckenbrodt 2019, Truckenbrodt & Alves 1982). As fácies deposicionais descritas com predominância de quartzo-arenitos, subarredondados a arredondados e bem selecionados com estruturas que indicam a ação de ondas e correntes sugerem alta maturidade textural e composicional associada a condições de alta a moderada energia em uma região costeira. Oliveira & Truckenbrodt (2019) analisando amostras de testemunho de sondagem também interpretaram o Arenito Guamá como maturo em composição e textura.

Os arenitos com estratificações cruzadas acanaladas e com seixos e grânulos dispersos registram ambientes de *shoreface*, enquanto os arenitos com estratificação plano-paralela, maciços e bioturbados registram zonas de *foreshore*. A presença de arenitos com laminações onduladas e planar com truncamentos de baixo ângulo e pouca bioturbação também sugerem um ambiente de *foreshore*. Zonas de *foreshore* são geralmente caracterizadas pelas condições de alta energia e intenso processo de *swash-backwash*, nas quais são depositados sedimentos bem selecionados com grãos variando de médio a grosso. Devido à alta energia os depósitos de *foreshore* tendem a ser pouco bioturbados e apresentar baixa icnodiversidade (MacEachern e Pemberton 1992, Pemberton *et al.* 2001). Localmente, zonas com intensa bioturbação por organismos detritívoros, como as observadas nas fácies de arenitos maciços, são comuns (Pemberton *et al.* 2001, Buatois & Mángano 2011). Estruturas verticais profundas utilizadas como moradia por organismos suspensívoros, como os produtores de *Skolithos*, encontrados em abundância no Arenito Guamá, são elementos típicos da zona de *foreshore* principalmente por que refletem a abundância de alimento em suspensão e a constante sedimentação ocasionada pela ação de ondas e correntes (Buatois & Mángano 2011, MacEachern & Pemberton 1992, Pemberton *et al.* 2001).

O registro de depósitos de *shoreface* no Arenito Guamá se restringem as fácies de arenito com estratificação cruzada acanalada que indicam a migração dunas subaquosas pela ação de correntes e ondas. Estes depósitos não apresentam traços fósseis e isso pode estar relacionado à contínua migração das dunas que resulta em uma esparsa

colonização do substrato marinho por organismos bentônicos (Buatois & Mángano 2011). Depósitos de *shoreface* superior são comumente não bioturbados e semelhantes às icnoassembleias de *foreshore* (Buatois & Mángano 2011).

5.2 CORRELAÇÃO COM A FORMAÇÃO NHAMUNDÁ

O Arenito Guamá está exposto em uma superfície restrita em alguns pontos dificultando a sua relação estratigráfica com as outras unidades da Plataforma Bragantina que afloram próximos a esses corpos arenosos. Vasquez *et al.* (2008) descreve a existência de um arco com aproximadamente 230 km de comprimento e direção NW-SE passando na região dos afloramentos em São Miguel do Guamá e Irituia; esse arco foi descrito através de dados gravimétricos que indicaram um alto estrutura. O Arenito Guamá apresenta um contato discordante tanto na porção inferior com outras unidades pré-cambrianas e superior com a Formação Itapecuru de idade cretácea.

A idade do Arenito Guamá ainda é muito discutida, assim como o seu papel na evolução da Plataforma Bragantina e sua relação com as unidades sedimentares que ocorrem nas bacias do Amazonas e Parnaíba (Truckenbrodt & Alves 1982, Caputo 1984, Martins *et al.* 2007). Correlações com as formações Ipu da Bacia do Parnaíba e Nhamundá da Bacia do Amazonas, que são de idade siluriana, foram propostas por Caputo (1984).

Segundo Caputo (1984), o Arenito Guamá poderia ser a porção distal dos depósitos glaciais da Formação Ipu; já a Formação Nhamundá (exceto pela presença de diamictitos e arenitos deformados) apresentam fácies deposicionais muito semelhantes às do Arenito Guamá, principalmente as do ambiente de *foreshore*. Através das fácies descritas por Soares *et al.* (2005) é possível fazer uma correlação direta com o Arenito Guamá, tais fácies são de caráter costeiro assim como as fácies descritas no Arenito Guamá. Além disso, apresentam também características petrográficas semelhantes, como a dissolução de sílica fortemente presente na Formação Nhamundá e que também é observada nas camadas do Arenito Guamá. Outra semelhança importante são as paleocorrentes do Arenito Guamá que apontam para o Nordeste, assim como as paleocorrentes encontradas na Formação Nhamundá.

O Arenito Guamá é considerado um registro destas formações, onde foram separadas apenas no Triássico com o desenvolvimento da Bacia do Marajó (Oliveira & Truckenbrodt 2019). A Plataforma Bragantina foi marcada por sistemas transcorrentes, apresentando estruturas principais de direção NE-SW e por falhas normais E-W e NW-SE gerando subsidência de blocos tectônicos e formação de grabens e semigrabens orientados na direção NW-SE (Costa *et al.*, 1996, 2002; Rossetti & Góes, 2004; Soares Jr. *et al.*, 2011). Estes eventos favoreceram a preservação deste registro do siluriano na Plataforma Bragantina.

A presença de níveis intensamente bioturbados e a baixa diversidade também são características da Formação Nhamundá (Nogueira *et al.* 1999, Soares *et al.* 2005), contudo a assembleia icnofossilífera do Arenito Guamá é um pouco mais diversificada que a da Formação Nhamundá. *Arthropycus alleghaniensis*, *Lockeia* e *Skolithos linearis* são encontrados na Formação Nhamundá. *S. linearis* é o único traço fóssil em comum entre as duas unidades. Características semelhantes de baixa diversidade e intensa bioturbação, porém local, também são encontradas em depósitos costeiros marinhos influenciados por águas de degelo, onde a mistura de água doce de degelo e marinha causam variações de salinidade e afetam a vida bentônica (Sarkar *et al.* 2009). Dessa forma, se o Arenito Guamá tem uma relação com as formações silurianas das bacias do Amazonas e Parnaíba, como apontado por Caputo e Lima (1984), então águas de degelo que se misturavam as águas marinhas nas regiões costeiras da Amazônia durante o Siluriano, podem explicar estas variações de salinidade que estão refletidas na assembleia icnofossilífera.

6 CONCLUSÃO

A partir das características faciológicas e da icnofauna, foi possível a interpretação de um paleoambiente deposicional *foreshore/shoreface* para os depósitos do Arenito Guamá que ocorrem nas regiões de São Miguel do Guamá e Irituia.

O estudo sistemático dos icnofósseis do Arenito Guamá foi baseado na descrição morfológica, preservacionais e etológicas que permitiram a classificação de 5 icnogêneros distintos: *Lingulichnus verticalis*, *Psammichnites isp.*; cf. *Schaubcylindrichnus coronus*; *Skolithos linearis* e Tubos verticais simples indeterminados. A presença de *Skolithos* sugere um ambiente altamente energético com abundante alimento em suspensão, enquanto que a presença de *Psammichnites isp.*, tubo vertical simples indeterminado e *Lingulichnus verticalis* está relacionada a interrupções ou diminuição da taxa de sedimentação e energia que possibilitou a presença de nutrientes no fundo marinho.

A presença de icnofósseis das icnofácies Cruziana e *Skolithos* associada à baixa diversidade de traços sugere ambientes estressantes relacionados a águas salobras. Águas de degelo que se misturavam as águas marinhas nas regiões costeiras da Amazônia durante o Siluriano podem explicar estas variações de salinidade que são refletidas na assembleia icnofossilífera.

Exceto pela presença de diamictitos e arenitos deformados, as fácies deposicionais da Formação Nhamundá são muito semelhantes as do Arenito Guamá, principalmente as do ambiente de *foreshore*. Através das fácies descritas por Soares et al. (2005) é possível fazer uma correlação direta com o Arenito Guamá, tais fácies são de caráter costeiro assim como as fácies descritas no Arenito Guamá. apresentam também características petrográficas semelhantes, como a dissolução de sílica fortemente presente na Formação Nhamundá e que também é observada nas camadas do Arenito Guamá. Outra semelhança importante são as paleocorrentes do Arenito Guamá que apontam para o Nordeste, assim como as paleocorrentes encontradas na Formação Nhamundá.

REFERENCIAS

- Alonso-Muruaga P. J., Buatois L. A., Limarino C. O. 2013. Ichnology of the late carboniferous Hoyada Verde Formations of western Argentina: exploring postglacial shallow-marine ecosystems of Gondwana. *Journal Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **369**: 228-238, Jan.
- Alpert S.P. 1974. Systematic review of the genus *Skolithos*. *Journal of Paleontology*, **48** (4): 661-669.
- Álvaro J.J. & Vizcaino D. 1999. Biostratigraphic significance and environmental setting of the trace fossil *Psammichnites* in the Lower Cambrian of the Montagne Noire, France. *Bull. Soc. Géol. France*, **170**: 821-828.
- Amorim K.B. 2016. *Paleoambiente, paleogeografia e isótopos de carbono e oxigênio de depósitos carbonáticos miocenos da Plataforma Bragantina, NE do estado do Pará, Brasil*. These Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, xxii, 130 p.
- Bromley R.G. 1996. *Trace fossils: biology, taphonomy and applications*. 2nd ed. London, Chapman and Hall, 361p.
- Buatois L. & Mángano M.G. 2011. *Ichnology organism-substrate interactions in space and time*. Cambridge University Press.
- Caputo M. V. 1984. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. Thesis (PhD), University of California, Santa Barbara, 1984. 583p. Unpublished.
- Caputo M.V. & Lima E.C. 1984. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande-Bacia do Parnaíba. *In: SBG, 33° Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. Anais...* Rio de Janeiro, v. 2, p. 740-753.
- Carvalho I.S. & Fernandes A.C.S. 2004. Icnofósseis. *In: Carvalho I.S. (ed.). Paleontologia*. 2a ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, v. 1, p. 143-169.
- Costa J B.S., Bemerguy R.L., Hasui Y., Borges M.S., Ferreira JR. C.R P., Bezerra P.E.L., Costa M.L., Fernandes J.M.G. 1996. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*, **4**(2): 23-43.
- Costa J.B.S., Hasui Y., Bemerguy R.L., Villegas J.M.C. 2002. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **74**(3):519–531.
- Della Fávera J.C. 2001. *Fundamentos de estratigrafia moderna*. Rio de Janeiro, EdUERJ.

Droser, M.L. & Bottjer, D.J. 1986. A semiquantitative field classification of ichnofabric. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 56, p. 558-559.

Ekdale, A.A.; Bromley, R.G.; Pemberton, S.G. 1984. Ichnology: Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy. [S.l.]: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 317. (Short Course 15).

Fernandes, A.C.S.; Borghi, L.; Carvalho, I.S.; Abreu, C.J. 2002. Guia dos Icnofósseis de Invertebrados do Brasil. [S.l.]: Ed. Interciência, p. 260.

Fernandes A.C.S., Carvalho I.S., Agostinho S. 2007. Icnofósseis: conceitos gerais. In: Carvalho I.S. e Fernandes A.C.S. (Eds.). *Icnologia. Série de Textos da Sociedade Brasileira de Geologia*, p. 8-23.

Figueiredo J.J.P., Zalán P.V., Soares E.F. 2007. Bacia da Foz do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2): 299-309.

Frey, R.W., Howard, J.D., 1981. *Conichnus* and *Schaubcylichnus*: redefined trace fossils from the Upper Cretaceous of the Western Interior. *Journal of Paleontology* 55, 800–804.

Frey R.W. & Pemberton S.C. 1985. Biogenic Structures in Outcrops and Cores. I. Approaches to Ichnology. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 33: 72-115.

Frey R.W., Pemberton S.C., Saunders T.D.A. 1990. Ichnofacies and bathymetry: a passive relationship. *Journal of Paleontology*, 64: 155-158.

Frey, R.W., Pemberton, G., 1991. The ichnogenus *Schaubcylichnus*: morphological, temporal, and environmental significance. *Geological Magazine* 128, 595–602.

Gingras, M.K.; Macearchern, J.A.; Dashtgard, S.E. 2011. Process ichnology and the elucidation of physic-chemical stress. *Sedimentary Geology*, v. 237, p. 115-134.

Hakes, W. G. 1976. Trace fossils and depositional environment of four clastic units, Upper Pennsylvanian megacyclothems, northeast Kansas. *University of Kansas Paleontological Contributions, Article 63*, 1-46.

Howard J.D. & Frey R.W. 1973. Characteristic physical and biogenic sedimentary structures in Georgia estuaries. *AAPG Bulletin*, 57:1159-1184

Kraatz-Koschlau, K.A. & Huber, J. Zwischen 1900. Ocean und Guamá: Beitrag zur Kenntnis des Staates Pará. *Mem. Museu Paraense*, v. 2, p.19-39.

Löwemark, L. & Hong, E., 2006. *Schaubcylichnus formosus* isp. nov. in Miocene sandstones from northeastern Taiwan. *Ichnos* 13, 267–276.

Löwemark, L. & Nara, M. 2010. Morphology, ethology and taxonomy of the ichnogenus *Schaubcylichnus*: Notes for classification. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297: 184-187.

- MacEachern, J.A. & Pemberton, S.G. 1992. Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America. In: PEMBERTON, S.G. (Ed.). *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration: a Core Workshop*. [S.l.]: Society for Sedimentary Geology, v. 17, p. 57–84.
- MacEachern, J.A.; Pemberton, S.G.; Gingras M.K.; Bann, K.L. 2010. *Ichnology and Facies Models: Principles, Tools and Concepts*. [S.l. : s.n.].
- Mángano MG, Buatois LA, Rindsberg AK. 2002a. Carboniferous *Psammichnites*: Systematic re-evaluation, taphonomy and autecology. *Ichnos* 9:1–22
- Mángano MG, Buatois LA, West RR, Maples CG. 2002b. Ichnology of an equatorial tidal flat: The Stull Shale Member at Waverly, eastern Kansas. *Bulletin of the Kansas Geological Survey* 245, 130 p.
- Martins P.S., Truckenbrodt, W., Moura C.A.V. 2007. Proveniência do arenito Guamá (Siluriano Inferior) com base em petrografia e datação de grãos de zircão por evaporação de Pb. In: Rosa-Costa L.T., Klein E.L., Viglio E.P. (ed.). *Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém, SBG, v. 5, p. 39-48.
- Martinsson A. 1970. Toponymy of trace fossils. In: Harper, J.C. *Trace fossils*. [S.l. : s.n.], p. 323–330. (Geological Journal Special Issue, 3).
- McIlroy D. & Garton, M., 2004. A worm's eye view of the Early Palaeozoic sea floor. *Geology Today*, v. 20, p. 224–230.
- Miall A.D. 1991. Hierarchies of architectural units in terrigenous clastic rocks and their relationship to sedimentation rate. In: MIALL, A.D.; TYLER, N. (Ed.). *The three dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*. Tulsa: Society for Sedimentary Geology/SEPM, p. 6-12. (Concepts in Sedimentology and Paleontology, 3).
- Miall A.D. 1994. Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: examples from the Castlegate Sandstone, Book Cliffs, Utah. *Journal of Sedimentary Research*, B64, p. 146-158.
- Miller M.F. & Smail S.E. 1997. A semiquantitative field method for evaluating bioturbation on bedding planes. *Palaios*, **12** : 397-396.
- Nara M. 2006. Reappraisal of *Schaubcylichnus*: a probable dwelling/feeding structure of a solitary funnel feeder. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **240** (3-3): 439–452.
- Netto R. 2001. Icnologia e estratigrafia de sequências. In: Ribeiro H.J.P.S. (org.). *Estratigrafia de sequências: fundamentos e aplicações*. São Leopoldo, RS, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Cap. 8, p. 219-259.

Netto R. & Rossetti, D.F. 2003. Ichnology and salinity fluctuations: a case study in the Early Miocene (Lower Barreiras Succession) of Sao Luis Basin, Maranhao, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **6**: 5–18.

Nogueira, A. C. R.; Truckenbrodt, W.; Soares, E. A. A. 1999. O icnogênero *Arthropycus* de depósitos sublitorâneos da Formação Nhamundá, (Siluriano Inferior) da Bacia do Amazonas, região de Presidente Figueiredo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, p. 135–140.

Oliveira, R. & Trukenbrodt, R.S.D. 2019. Provenance and diagenesis of Guamá Sandstone, northeastern Pará, Brazil: A Silurian link between the Amazonas and Parnaíba basins. 44f. *Journal of South American Earth Sciences*.

Osgood, R.G. 1970. Trace fossils of the Cincinnati area. *Palaeontographica Americana*, v. ou n. 6, 281–444.

Pemberton, S.G. & Frey, R.W. 1984A. Ichnology of storm-influenced shallow marine sequence: Cardium Formation (Upper Cretaceous) at Seebe, Alberta. In: STOTT, D.F.; GLASS, D.J. (Ed.). *The Mesozoic of middle North America*. [S.l. : s.n.]. p. 281–304. (Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 9).

Pemberton, S.G. & Frey, R.W. 1982. Trace fossil nomenclature and the *Planolites–Palaeophycus* dilemma. *Journal of Paleontology*, v. 56, p. 843–881.

Pemberton, S.G.; MacEachern, J.A.; Frey, R.W. 1992. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic. In: WALKER, R.G.; JAMES, N.P. (Ed.). *Facies Models: response to sea level change*. [S.l.]: Geol. Assoc. Canadá, p. 47-70.

Pemberton, S.G.; Spila, M.; Pulham, A.J.; Saunders, T.; Maceachern, J.A.; Robbins, D.; Sinclair, I.K. 2001. Ichnology & Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems. Bem Nevis and Avalon Reservoirs, Jeanne d’Arc Basin. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v. 51, n. 2, p. 206-211, jun.

Reineck, H.-E. & Singh, I.B. 1975. *Depositional sedimentary environments*. New York: Corrected reprint.

Rossetti, D. F. 2001. Late Cenozoic sedimentary in Northeastern Pará, Brazil, within the context of sea-level changes. *Journal of South America Earth Science*, v. 14, n.1, p. 77–89.

Rossetti D.F., 2006. The role of tectonics on the preservation of estuarine valleys in areas with low accommodation rates: examples from Upper Cretaceous and Miocene successions in Northern Brazil. In: Dalrymple R.W., Leckie D.A., Tillman R.W. eds. *Incised valley in time and space: SEPM Special Publication*, 85:199–218.

Rossetti D. F. & Góes A. M. 2004. *O Neógeno da Amazônia Oriental*. Belém, Coleção Friedrich Katzer, Museu Paraense Emílio Goeldi, 225p.

Rossetti, D.F.; Bezerra, F.H.R.; Dominguez, J.M.L. 2013. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. *Earth-Science Reviews*, v. 123, p. 87-112, 59.

Sarkar, S.; Ghosh, S. K.; Chakraborty, C. 2009. Ichnology of a late palaeozoic ice-marginal shallow marine succession: Talchir Formation, Satpura Gondwana basin, central India. *Journal Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

Seilacher, A. 1967. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, v. 5, n. 5-6, p. 413-428.

Seilacher, A. 1964a. Biogenic sedimentary structures. In: IMBRIE, J.; NEWELL, N. (Ed.). *Approaches to paleoecology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, p. 296–316.

Seilacher A. 2007. *Trace Fossil Analysis*. Springer, Berlin, 226p.

Soares, E.A.A.; Truckenbrodt, W.; Nogueira, A.C.R. 2005. Fácies litorâneas e subglaciais da Formação Nhamundá (siluriano inferior), região de Presidente Figueiredo, Bacia do Amazonas. *Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi, Ser. Ciências Naturais*, n. 2, p. 105-132.

Soares Júnior A.V., Costa J.B.S. Hasui Y. 2008. Evolução da margem atlântica equatorial do Brasil: três fases distensivas. *Geociências-UNESP*, 27(4):427-437.

Soares Jr., A.V., Hasui Y., Costa J.B.S., Machado F.B. 2011. Evolução do rifteamento e paleogeografia da margem Atlântica Equatorial do Brasil: Triássico ao Holoceno. *Geociências-UNESP*, 30(4):669-692.

Szmuc, E. J., Osgood, R. G. & Meinke, D. W. 1976: *Lingulichnites*, a new trace fossil genus for lingulid brachiopod burrows. *Lethaia* 9, 163-167

Thayer, C.W. & Steele-Petrovic, H.M. 1975. Burrowing of the lingulid brachiopod *Glottidia pyramidata*: Its ecologic and paleoecologic significance: *Lethaia*, v. 8, p. 209–221.

Torres, A.M., 1985. Caracterização paleoambiental e diagenético do arenito do Guamá, furo São Miguel do Guamá-PA. 1985. 00f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

Truckenbrodt, W. & Alves, R.J. 1982. Sobre a petrologia do arenito Guamá, região de São Miguel do Guamá, NE do estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Geologia*, Belém, n. 27, p. 1-22.

Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. 2008. *Geologia e recursos minerais do estado do Pará: Sistemas de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará*. Escala 1:1.000.000. Belém, CPRM, 328p. (Programa Geologia do Brasil-PGB, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil).

Walker R.G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. *In*: Walker R.G. & James N.P. (ed.). *Facies models: response to sea level change*. Ontario, Geological Association of Canada, p. 1-14.

Walker R.G. 1990. Facies modelling and sequence stratigraphy. *Journal of Sedimentary Petrology*, **60** (5) : 777-786, set.

Zalán P.V. & Matsuda N.S. 2007. Bacia do Marajó. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2): 311-319.

Zonneveld J.P., Beatty T.W., Pemberton S.G. 2007. Lingulide brachiopods and the trace fossil *Lingulichnus* from the Triassic of Western Canada: implications for faunal recovery after the end-Permian mass extinction. *Palaios*, **22** (1): 74-97.

Zonneveld J-P. & Pemberton S.G. 2003. Ichnotaxonomy and behavioral implications of lingulide-derived trace fossils from the Lower and Middle Triassic of Western Canada: *Ichnos*, **10** (1): 25-39.