



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA REGIONAL

**ICNOFÓSSEIS DE INVERTEBRADOS E RAÍZES FÓSSEIS DA FORMAÇÃO
MARÍLIA (MEMBRO ECHAPORÃ), GRUPO BAURU, CRETÁCEO
SUPERIOR, BRASIL**

Mestrado n. 321

Adriano Santos Mineiro

Orientador: Rodrigo Miloni Santucci

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geologia, na área de concentração de Geologia Regional.

Brasília, Março de 2014



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA REGIONAL

**ICNOFÓSSEIS DE INVERTEBRADOS E RAÍZES FÓSSEIS DA FORMAÇÃO
MARÍLIA (MEMBRO ECHAPORÃ), GRUPO BAURU, CRETÁCEO
SUPERIOR, BRASIL**

Mestrado n. 321

Adriano Santos Mineiro

Orientador: Rodrigo Miloni Santucci

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geologia, na área de concentração de Geologia Regional.

Brasília, Março de 2014

**Dissertação apresentada na forma de artigo conforme Art. 35 do
Regimento da Pós-Graduação do Instituto de Geociências.**

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Miloni Santucci (UnB)

Prof. Dra. Renata Guimarães Netto (UNISINOS)

Prof. Dr. Carlos Jorge de Abreu (UnB)

Índice

Resumo.....	1
Abstract	2
1 - Introdução.....	3
2 - Materiais e Métodos	5
3 - Contexto Geológico.....	5
4 - Icnologia Sistemática.....	12
4 - 1. Outras estruturas indeterminadas associadas.....	15
4 - 2. Rizólitos	17
5 - Discussão.....	19
6 - Conclusão	23
7 - Agradecimentos	23
8 - Referências.....	24

ICNOFÓSSEIS DE INVERTEBRADOS E RAÍZES FÓSSEIS DA FORMAÇÃO MARÍLIA (MEMBRO ECHAPORÃ), GRUPO BAURU, CRETÁCEO SUPERIOR, BRASIL

Resumo

A Formação Marília (Grupo Bauru, Cretáceo Superior, Brasil) já rendeu uma grande quantidade de fósseis de vertebrados. Entretanto, seu conteúdo icnológico e botânico é pouco conhecido. Neste trabalho são reportadas descobertas de icnofósseis (*Beaconites* isp., *Skolithos* isp., *Taenidium barretti*), rizólitos associados à micorrizas e outros icnofósseis associados no Membro Echaporã da Formação Marília na região sudoeste do Estado de São Paulo. A associação de icnofósseis e vertebrados permitiu sua classificação como Icnofácies Scoyenia. Os rizólitos indicam que pelo menos dois tipos de plantas herbáceas/arbustivas estavam presentes na região. As análises sedimentológicas sugerem que o afloramento estudado representa sedimentos fluviais com predominância de barras arenosas sujeitas a períodos de exposição subaérea relativamente longos.

Palavras chave: icnofósseis de invertebrados, rizólitos, micorrizas, Formação Marília, Cretáceo, Grupo Bauru

Abstract

The Marília Formation (Bauru Group, Upper Cretaceous, Brazil) has furnished a large array of vertebrate fossils. However, its ichnological and botanical contents are poorly known. Here we report the findings of trace fossils (*Beaconites* isp., *Skolithos* isp., *Taenidium barretti*), rhizoliths associated with mycorrhizae, and other unidentified trace fossils for the Echaporã Member of the Marília Formation in the southwest region of the State of Sao Paulo. The association of trace fossils and vertebrates suggests they can be regarded to the Scoyenia Ichnofacies. The rhizoliths indicate that at least two herbaceous/arbustive plants were commonly present. Sedimentological analysis shows the studied outcrop comprises fluvial deposits, with a predominance of sand bars that underwent relatively long periods of subaerial exposure.

Key-words: invertebrate trace fossils, rhizoliths, mycorrhizae, Marília Formation, Cretaceous, Bauru Group

1 - Introdução

O Grupo Bauru possui uma grande variedade de fósseis de vertebrados, invertebrados e evidências de plantas. Entre as unidades mais fossilíferas estão as formações Adamantina, Uberaba e Marília. Com relação ao registro de vertebrados, nas últimas décadas, vários autores reportaram a presença de peixes, anfíbios, testudinos, crocodylomorfos, dinossauros, mamíferos (Bertini *et al.*, 1993, Kellner & Azevedo, 1999) e, mais recentemente, aves (Alvarenga & Nava, 2005) e serpentes (Zaher *et al.*, 2003). Quanto ao registro de invertebrados, foram encontrados gastrópodes, bivalves, conchostráceos, ostracodes e biturbações (Mezzalira, 1974, 1989; Gobbo-Rodrigues, 2001; Dias-Brito *et al.*, 2001). Em relação às plantas, quando comparadas aos demais fósseis conhecidos, o registro é mais escasso, sendo reportadas ocorrências de girogonites de carófitas, fragmentos de coníferas e paleorraízes (Dias-Brito *et al.*, 2002; Mezzalira, 1974, 1989; Fernandes, 2010; Dal´Bó *et al.*, 2010).

Até o momento são conhecidas ocorrências de icnofósseis de invertebrados nas formações Adamantina e Marília do Grupo Bauru e de paleorraízes em praticamente toda a unidade, exceto na Formação Uberaba. Os icnogêneros identificados até o presente na Formação Adamantina são *Arenicolites*, *Coprinisphaera*, *Macanopsis*, *Palaeophycus*, *Skolithos*, *Taenidium* e *Trypanites* (Fernandes & Carvalho, 2006; Carvalho *et al.*, 2009; Vasconcellos & Carvalho, 2010; Cardoso *et al.*, 2013). Na Formação Marília as ocorrências não são tão abundantes, tendo sido registrados *Macanopsis*, *Skolithos* e *Taenidium* (Dal´Bó *et al.*, 2010; Mineiro *et al.*, 2013). Com relação às paleorraízes, há breves menções de sua ocorrência nas formações Araçatuba, Marília, São José do Rio Preto e Marília (Dal´Bó *et al.*, 2010; Fernandes, 2010).

Apesar de relativamente comuns, pouca atenção foi dada aos icnofósseis do Grupo Bauru (exceto pelos trabalhos mencionados acima), e eles são geralmente reportados apenas como uma mera evidência de bioturbação, não recebendo uma descrição mais detalhada, não sendo usados como ferramenta para reconstrução paleoambiental. Muitos autores (e. g. Carvalho & Fernandes, 2000; Frey, 1975; Miller III, 2007; Seilacher, 2007; Buatois & Mángano, 2011) enfatizaram a importância dos icnofósseis em estudos paleoambientais, os quais podem fornecer informações sobre a identidade e comportamento dos organismos produtores e ajudar na determinação das condições ambientais reinantes na época da deposição dos sedimentos. Isto é particularmente importante para os estudos paleontológicos no Grupo Bauru, pois uma grande quantidade de fósseis de vertebrados e invertebrados é conhecida e, ao mesmo tempo, sabe-se, por exemplo, muito pouco sobre sua paleoflora e condições ambientais. Dessa forma, por exemplo, qualquer tentativa de reconstrução das interações biológicas dos vertebrados desta unidade será menos acurada sem a integração das informações fornecidas pelas evidências icnológicas (icnofósseis de invertebrados e rizólitos).

Durante trabalhos de campo realizados na região de Marília nos anos de 2010 a 2013 para a coleta de um dinossauro saurópodo, foi encontrada uma grande quantidade de icnofósseis e paleorraízes associadas à micorrizas. Uma grande quantidade de rocha teve de ser removida para que o esqueleto de saurópodo fosse exposto (aproximadamente 5 mil toneladas de rocha). Isso não apenas revelou uma grande quantidade de icnofósseis, como também permitiu que tivéssemos uma compreensão mais refinada de seu padrão geral de distribuição. No presente trabalho esses icnofósseis são descritos, assim como seu significado paleoambiental, com as respectivas icnofácies.

2 - Materiais e Métodos

Os espécimes analisados estão depositados na coleção da Faculdade UnB Planaltina. Foram analisadas as amostras de número FUP-Ic 01 a FUP-Ic 04, FUP-Ic 06, FUP-Ic 07, FUP-Ic 16 a FUP-Ic 20, FUP-Ic 23, FUP-Ic 33 a FUP-Ic 35, FUP-Ic 37, FUP-Ic 40, FUP-Ic 42, FUP-Ic 43, FUP-Ic 46, FUP-Ic 50 a FUP-Ic 52, FUP-Ic 57, FUP-Ic 63, FUP-Ic 65, FUP-Ic 69, FUP-Ic 71, FUP-Ic 80, FUP-Ic 82, FUP-Ic 84 FUP-Ic 107 e FUP-Ic 108. Além de vários espécimes observados em campo. As amostras foram coletadas nas camadas acima das concreções carbonáticas sobre o fóssil de titanossauro.

3 - Contexto Geológico

As rochas do Grupo Bauru, Cretáceo Superior, do Sudeste do Brasil, afloram nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, ocupando uma área de aproximadamente 230.000 km² (Fulfaro, 1974). O Grupo Bauru é dividido nas formações Araçatuba, Adamantina, São José do Rio Preto, Uberaba e Marília (membros Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã), que em conjunto com o Grupo Caiuá, forma a Bacia Bauru (Batezelli, 2010) (Fig. 1).

Milani *et al.* (2007) interpreta a Bacia Bauru como sendo uma Supersequência da Bacia do Paraná. Tendo uma espessura máxima preservada de cerca de 300 m e área de ocorrência de 370.000 km², com contato basal discordante. A Supersequência Bauru é formada pelos grupos cronocorrelatos Caiuá e Bauru.

Os limites da Bacia Bauru são caracterizados por processos erosivos e/ou tectônicos (Batezelli, 2010). O clima da época de formação foi proposto como árido/semiárido (Batezelli *et al.*, 2005).

A Formação Marília é considerada de idade maastrichtiana, com base em seu conteúdo fossilífero (Dias-Brito *et al.*, 2001; Santucci & Bertini, 2001; Gobbo-Rodrigues, 2002). Ela é a unidade de topo do Grupo Bauru, consiste essencialmente de arenitos maciços e, em menor quantidade, conglomerados, cimentados por calcita, conferindo à paisagem um característico relevo de platôs.

O Membro Echaporã apresenta um contato gradacional e interdigitado com a Formação Adamantina (Formação Vale do Rio do Peixe, *sensu* Fernandes, 2004) e com os outros membros da própria Formação Marília. Na sua borda leste, no Estado de São Paulo, a Formação Marília repousa diretamente sobre os basaltos da Formação Serra Geral (Fernandes, 2004). De acordo com Batezelli (2010), o Membro Echaporã consiste de arenitos finos a grossos, com conglomerados intercalados, cimentados por carbonato de cálcio, com seixos de quartzo, gnaiss, quartzito, basalto, kamaflagitos, nódulos carbonáticos e intraclastos de argilito, os quais representariam depósitos aluviais distais ou fluviais. De maneira geral, os arenitos são maciços e apresentam marcas de raízes. Uma diferente interpretação deposicional foi apresentada por Dal'Bo *et al.* (2010) e Fernandes (2010), os quais consideram o Membro Echaporã como lençóis de areia eólica com canais fluviais subordinados. Comentários adicionais sobre o tipo de sistema deposicional associado ao Membro Echaporã são apresentados mais abaixo.

O principal afloramento estudado apresenta, na base, arenitos mal selecionados, finos a grossos, de cor laranja, maciços, com concreções centimétricas de carbonato no topo (Figs. 2-3). O contato com a camada sobrejacente é erosivo. Esta camada compreende siltitos de cor vermelho a marrom, com incipiente estratificação plano-paralela, com um número crescente de concreções de carbonato em direção ao seu topo. Grãos de areia são observados no topo desta camada. Ela possui uma forma

lenticular (base convexa e topo plano), medindo 0,9 m de altura e 12 m de largura, interpretada aqui como um canal abandonado de possível sistema entrelaçado.

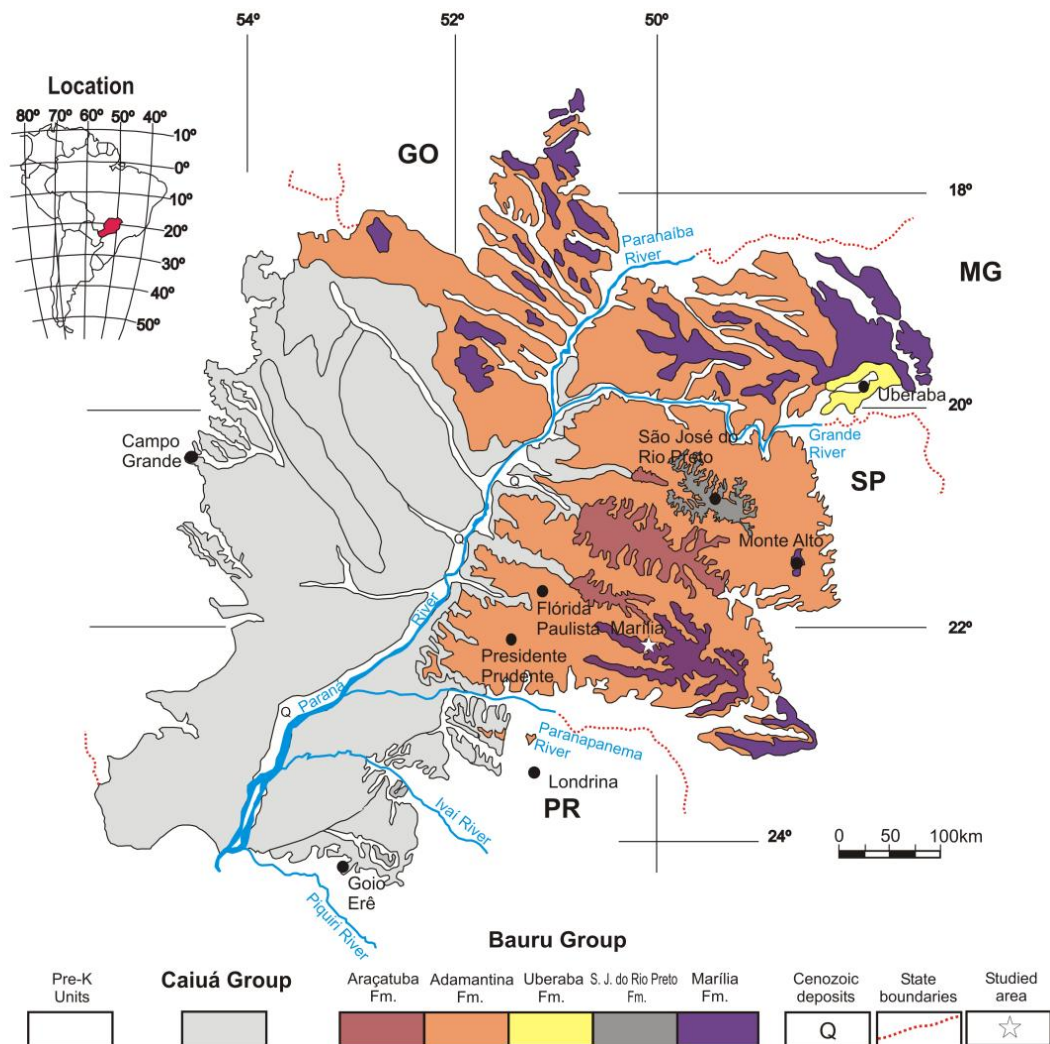


Fig. 1. Mapa geológico da Bacia Bauru. Compilado de Fernandes (1998), Fernandes & Coimbra (1996).

As camadas sobrejacentes são semelhantes à camada descrita anteriormente. Compreendem arenitos maciços de cor laranja, finos a grossos, com escassas ocorrências de rizólitos e icnofósseis até o nível onde ossos de titanossauro foram encontrados. As concreções de carbonato são de tamanho centimétrico e frequentemente alongadas verticalmente, geralmente tornando-se mais arredondadas nos pontos em que

juntam para formar uma espécie de crosta de carbonato. Esta característica cíclica e bem definida é aqui interpretada como formada durante os períodos de exposição subaérea (Fig. 2 para uma visualização em detalhe das concreções de carbonato). Pequenas (poucos metros de largura) lentes de siltito com concreções de carbonato (Fig. 3) também ocorrem nestas camadas de arenito. No nível onde os ossos de titanossauro foram encontrados, moluscos bivalves, raros icnofósseis e rizólitos, crocodilomorfos e dentes de terópodes (em estreita associação com o esqueleto saurópode). Deste ponto para o topo desta camada, a quantidade de icnofósseis aumenta drasticamente e em menor grau a quantidade de rizólitos. Na parte superior, a granulometria da areia, que era média e mal selecionada, diminui e torna-se essencialmente fina e bem selecionada (Fig. 4A-B).

A camada seguinte consiste de uma lente fina (0,30 m de espessura e 8 m de largura) de um argilito siltoso, maciço, de cor vermelho-marrom, com raros rizólitos, e várias concreções de carbonato. Acima desta lente encontra-se uma espessa (1,6 m) camada de arenito calcetizado (Figs. 2, 3) que mostra vários rizólitos e alguns icnofósseis e um crânio de crocodilomorfo. Concreções de carbonato são escassas e aumentam em número para o topo da camada, onde se aglutinam para formar uma crosta dura. A última camada observada compreende um arenito maciço, de cor amarelo-laranja, fino a grosso, com rizólitos e icnofósseis (Figs. 2-3).

A continuidade lateral limitada e a ausência de um *datum* não permitem um posicionamento estratigráfico mais preciso para essa sequência de rochas dentro do Membro Echaporã. Entretanto, como a área ocupa um dos lugares mais altos da região, tentativamente associa-se esse afloramento à porção superior do Membro Echaporã.

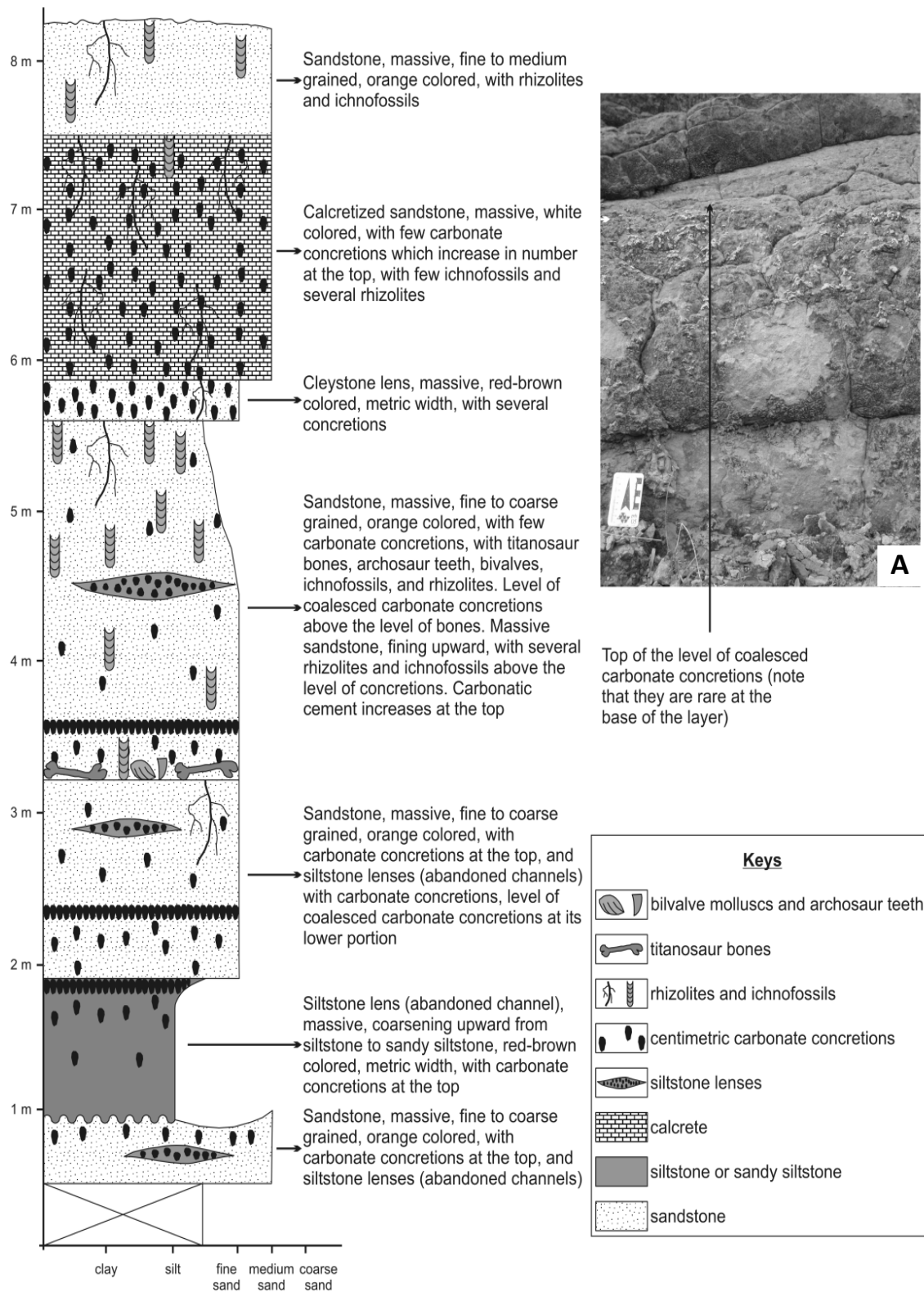


Fig. 2. Perfil litológico do afloramento. A, nível de concreções observado no afloramento.



Fig. 3. Porções do afloramento onde canais abandonados são evidentes (setas brancas). Dois deles são relativamente largos (aproximadamente 5 m). As fotos representam partes distintas do mesmo afloramento. Escala: 1 m.

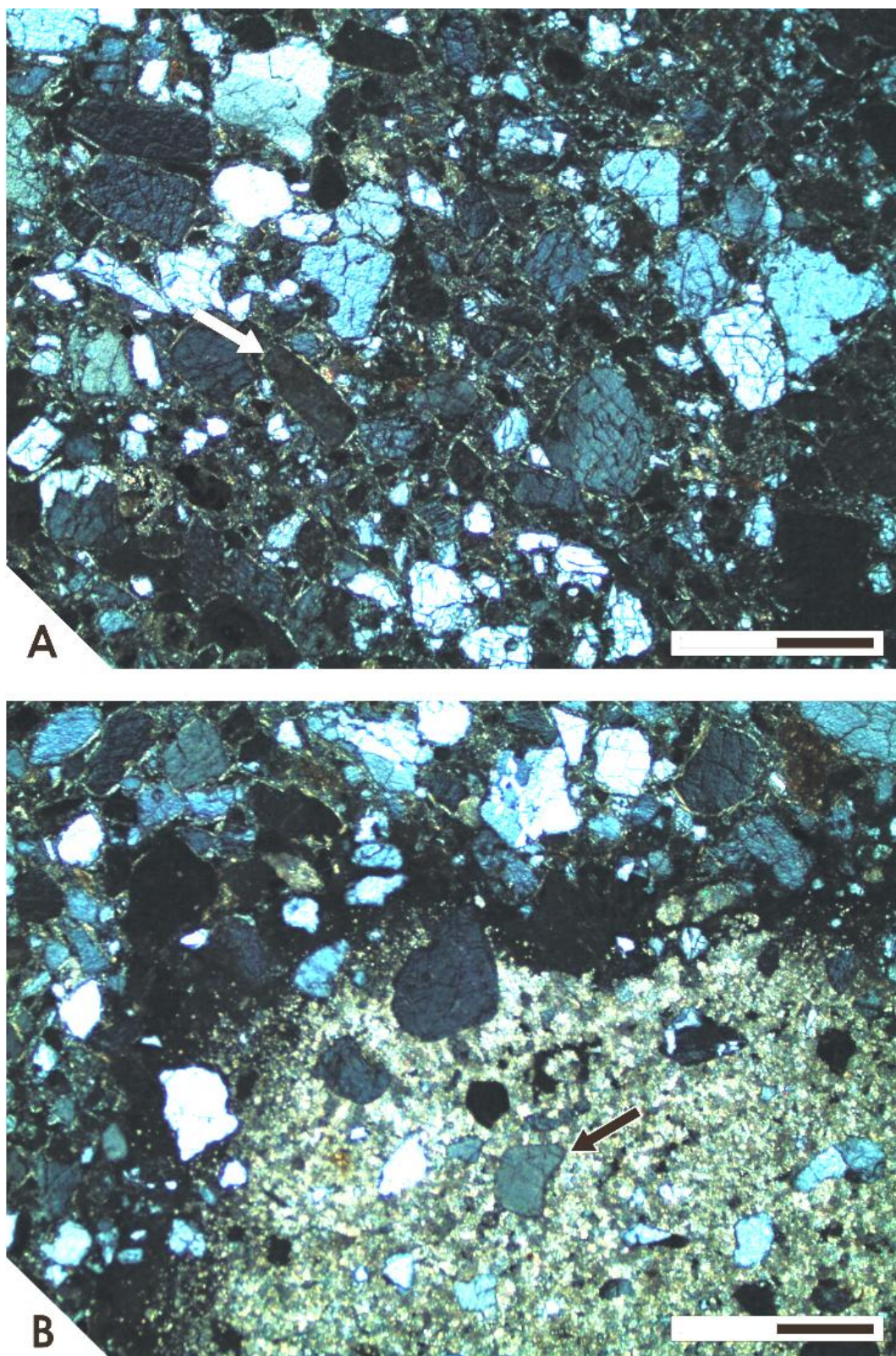


Figura 4. A – B, seções delgadas de amostras de arenito médio da camada onde foram encontrados restos de invertebrados, vertebrados e icnofósseis e raízes (polarizadores cruzados). Uma concreção carbonática englobando grãos de quartzo (seta preta) é mostrada em **B**. Observar que os grãos de quartzo são mal selecionados e angulosos. Setas brancas indicam as franjas de calcita microcristalina ao redor dos grãos de areia. Escala: 50 μ m.

4 - Icnologia Sistemática

Ichnogênero *Beaconites* Vialov, 1962

Beaconites isp. (Fig. 5A, B e C)

Descrição. Escavação cilíndrica, retilínea, de posicionamento vertical ou inclinado em relação ao plano da camada, sem ramificação, com bordos lisos e sem adornos, com preenchimento meniscado. Sem espécimes completos, tendo uma variação de 0,8 a 1,3 cm de diâmetro.

Material. FUP-Ic 37 e FUP-Ic 51.

Discussão. Os espécimes encontrados estão todos na vertical associados à paleorraízes (Fig. 5A-B) e *Taenidium barretti* (Fig. 5E-F).

Tem como característica preliminar para sua definição a ocorrência de filme pelítico nos bordos, icnofósseis meniscados passaram por constantes revisões sistemáticas, *Beaconites* diferencia-se dos demais ichnogêneros por possuir bordos lisos (Keighley & Pickerill, 1994). Segundo Buatois & Mángano (2011), *Beaconites* e *Taenidium* formam uma suíte distinta da Icnofácies Scoyenia, caracterizada por estruturas meniscadas sem ornamentação em um substrato macio. É sugerido por Morrissey & Braddy (2004), que *Beaconites* é produzido por miriápodes, que escavam em busca de umidade em estações secas. Diplópodes muitas vezes adotam o hábito de escavarem câmaras para a troca de exoesqueleto durante a estação seca para evitar a dessecação.



Figura 5. Icnofósseis do Membro Echaporã (Formação Marília). **A**, *Beaconites* isp. (Be) associado com rizólito (Ri) e outra escavação, FUP-Ic 37. **B**, desenho esquemático de *Beaconites* isp., FUP-Ic 37. **C**, vista da parte superior de *Beaconites* isp. (Be), FUP-Ic 37. **D**, *Taenidium barretti* observado na camada de calcarete, FUP-Ic 107. **E**, associação dos icnofósseis *Beaconites* isp. (Be) e *Taenidium barretti* (Ta), FUP-Ic 51. **F**, desenho esquemático da associação de icnofósseis, FUP-Ic 51. **G**, vista do topo da amostra FUP-Ic 51. Escala: 2 cm.

Ichnogênero *Skolithos* Haldemann, 1840

Skolithos isp. (Fig. 6 C, D, E e F)

Descrição. Escavação cilíndrica, reta a levemente curvada, de posicionamento vertical, sem ramificação aparente, com parede lisa e sem adornos, e preenchimento diferente da rocha matriz. Apresenta diâmetro de 1 cm.

Material. FUP-Ic 17, FUP-Ic 18, FUP-Ic 20, FUP-Ic 35, FUP-Ic 40.

Discussão. Todos os espécimes de *Skolithos* isp. encontrados no afloramento têm seu preenchimento de cor branca. Na Figura 6E-F pode-se observar que ele é escavado posteriormente por *Taenidium barretti*.

Escavações de *Skolithos* em ambientes continentais são atribuídas a atividades de artrópodes como insetos e aracnídeos, devido à presença de apêndices articulados para escavação e mobilização de sedimentos. Alguns coleópteros fazem tocas simples na vertical (semelhante a *Skolithos*) para fins de nidificação ou estivação (Schlirf *et al.*, 2001; Fernandes *et al.*, 2002; Buatois & Mángano, 2011).

Ichnogênero *Taenidium* Heer, 1877

Taenidium barretti (Bradshaw, 1981) (Fig. 5D)

Descrição. Escavação cilíndrica, de posicionamento horizontal e vertical na camada, não ramificada, sem parede, com preenchimento meniscado, com meniscos fortemente arqueados. Os meniscos são heterogêneos, mostrando variação de cor e de tamanho. Diâmetro entre 3 mm a 2 cm.

Material. FUP-Ic 19, FUP-Ic 37, FUP-Ic 42, FUP-Ic 80, FUP-Ic 107.

Discussão. *Taenidium barretti* é a icnoespécie com maior amplitude estratigráfica no afloramento, ocorrendo em todas as camadas. Na figura 5 E-F é observada uma sucessão de rastros, que é interpretada como interações casuais ou resultado de sucessão ecológica, onde um espécime de *Taenidium barretti* é escavado por outros dois

indivíduos (*Beaconites* isp.), na figura 6 B ocorrem escavações de *Taenidium barretti* em concreções de carbonato.

Estruturas meniscadas em *Taenidium barretti* têm sido interpretadas como o produto da escavação de invertebrados detritívoros, provavelmente oligoquetos (Squires & Advocate, 1984; Melchor *et al.*, 2002). A ocorrência dos icnogêneros *Beaconites* e *Taenidium* é uma indicação de Icnofácies Scoyenia (Fernandes *et al.*, 2002, Miller III, 2007; Seilacher, 2007; Buatois & Mángano, 2011). *Taenidium* observados na vertical podem ser um indício de períodos de aridez, onde o animal busca áreas mais úmidas escavando o substrato (Netto, 2007). *Taenidium* tem preenchimento variável, de conteúdo homogêneo ou heterogêneo, com material fecal e não fecal (Keighley & Pickerill, 1994).

4 - 1. Outras estruturas indeterminadas associadas

Foram observadas outras estruturas de bioturbação cuja identificação não pode ser determinada devido à grande quantidade de escavações (Fig. 6A). Algumas dessas estruturas são descritas a seguir.

Tipo 1.

Descrição. Escavação cilíndrica, retilínea, de posicionamento vertical, sem ramificação, com a porção superior mais larga que a anterior. O preenchimento é diferente da rocha matriz, tendo diâmetro de 0,8 cm na base e 1,3 cm no topo (Fig. 6G).

Material. FUP-Ic 42.

Discussão. Somente um espécime foi encontrado, onde o mesmo não se encontra completo para melhor identificação. Tendo como característica distintiva o fato de seu

topo ser maior que a base e o sedimento mais escuro que a rocha, exceto na base, que é mais estreita e com preenchimento de cor branca.

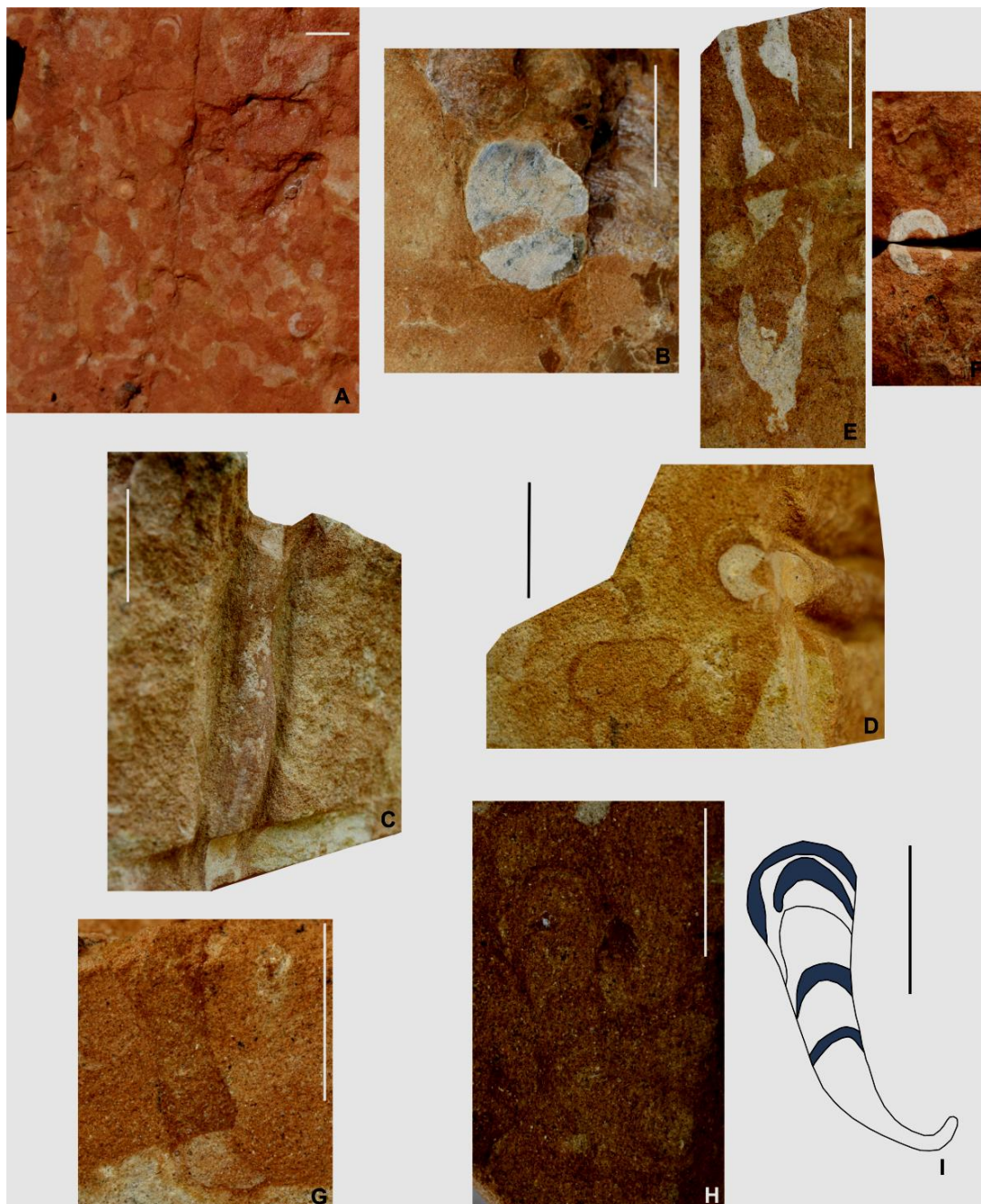


Figura 6. Amostras diversas do Membro Echaporã (Formação Marília). **A**, imagem do arenito mais bioturbado do afloramento. Observar vários eventos de bioturbação superimpostos. **B**, escavações de *Taenidium barretti* em concreções de carbonato, FUP-IC 80. **C**, *Skolithos*, FUP-IC 18. **D**, vista do topo da amostra FUP-IC 18, com intraclasto e topo de *Skolithos* isp.. **E**, *Skolithos* isp., escavado por *Taenidium barretti*, FUP-IC 17. **F**, *Skolithos* isp. associado com *Taenidium barretti*, FUP-IC 17 e FUP-IC 20. **G**, tipo 1, mostra que essa escavação aumenta de diâmetro na vertical, FUP-IC 42. **H** *Taenidium barretti* na vertical, FUP-IC 37. **I**, desenho esquemático de *Taenidium barretti*, FUP-IC 37. Escala: 2 cm.

4 - 2. Rizólitos

Descrição. Dois tipos de rizólitos foram observados. O tipo 1 consiste de tubos ramificados, com diminuição do diâmetro das ramificações, orientação variável, com predominância de raiz principal na vertical e ramificações na horizontal, com exemplares preenchidos por sedimento alaranjado e outros compostos por uma massa branca e maciça ou preenchidos por calcita recristalizada. Algumas amostras também apresentam manta fina em forma de teia (interpretado aqui como micorrizas). Elas geralmente estão aderidas à raiz principal e raramente se ramificam. Amostras bem preservadas mostram que esses rizólitos apresentam uma grande variação de tamanho, com espécimes que chegam a 32 cm de comprimento e diâmetro de pelo menos 1,5 cm. O tipo 2 consiste de rizólitos que geralmente se ramificam em ramos ortogonais. Adicionalmente, o diâmetro da raiz é relativamente constante. Assim como no tipo 1, algumas amostras são preenchidas pelo mesmo tipo de sedimento da rocha circundante, enquanto outras consistem de uma massa branca e homogênea.

Material. FUP-Ic 01 - FUP-Ic 04, FUP-Ic 06, FUP-Ic 07, FUP-Ic 16, FUP-Ic 17, FUP-Ic 20, FUP-Ic 23 - FUP-Ic 33, FUP-Ic 40, FUP-Ic 42, FUP-Ic 43, FUP-Ic 46, FUP-Ic 50, FUP-Ic 52, FUP-Ic 57 - FUP-Ic 63, FUP-Ic 65 - FUP-Ic 69, FUP-Ic 71 - FUP-Ic 80, FUP-Ic 82 - FUP-Ic 84 e FUP-Ic 108.

Discussão. Foram observadas impressões de raízes, moldes, preservação parcial e recristalização (Figuras 7A, B, D e E), sendo classificadas como rizólitos na interpretação de Klappa (1980). Os rizólitos são encontrados em todos os níveis do afloramento, sendo mais bem preservados e em maior quantidade na camada de calcrete. Possuem interação com os icnofósseis de invertebrados (Fig. 5A), onde a raiz utiliza o caminho já feito por um invertebrado, facilitando assim a penetração no solo.

Isso sugere que pelo menos algumas plantas cresceram após a colonização do substrato por alguns invertebrados.

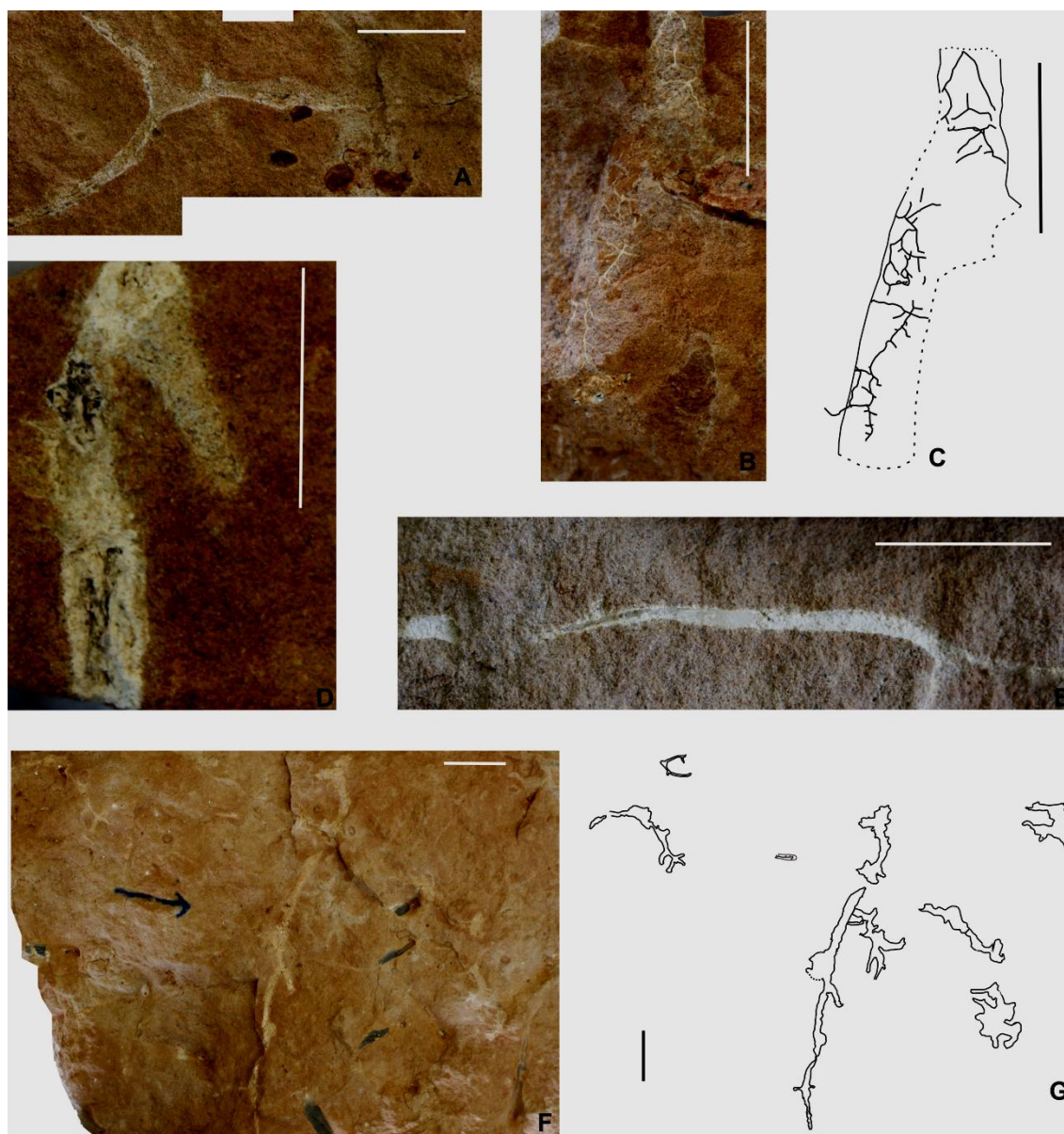


Figura 7. Rizólitos do Membro Echaporã, Formação Marília. **A**, impressão de raiz, FUP-Ic 02. Observar pequenas porções do fóssil ainda aderidas ao molde. **B**, molde de raiz com ectomicorriza em volta do tubo, FUP-Ic 75. **C**, esquema de micorrizas em volta de tubo de rizólito, FUP-Ic 75. **D**, rizólito com massa branca (preservação parcial), FUP-Ic 16. **E**, amostra de rizólito com cristalização de calcita, FUP-Ic 29. **F**, amostra com rizólitos de tamanhos variados, mostrando a densidade de rizólitos na amostra FUP-Ic 108. **G**, croqui da amostra FUP-Ic 108. Escala: 2 cm.

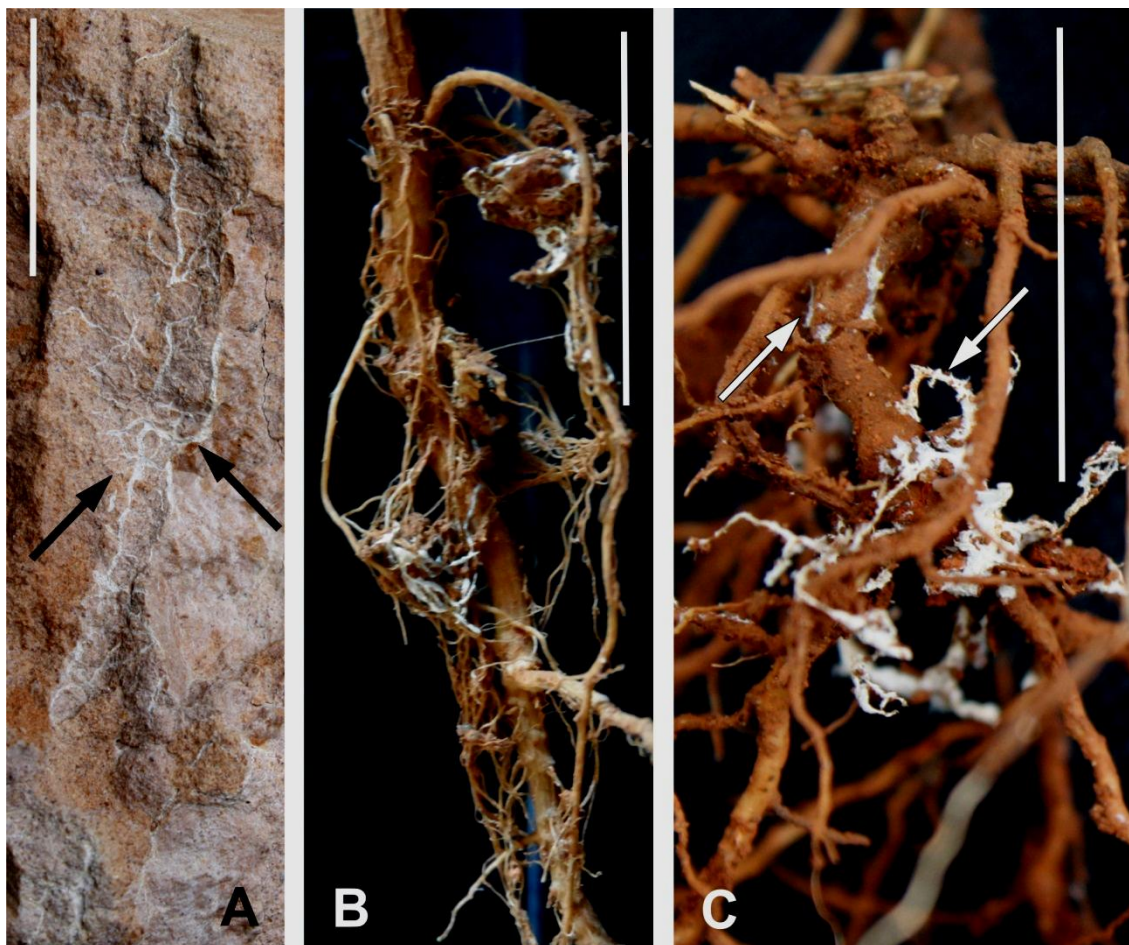


Figura 8. Comparação entre micorrizas recentes e os exemplares fósseis do Membro Echaporã. **A**, ectomicorriza do afloramento estudado (Membro Echaporã, Formação Marília), FUP-Ic 79. **B** e **C**, exemplos atuais de raízes com micorrizas. Notar que os fungos estão aderidos à raiz principal e formam ramificações menores que inibem a formação de pelos radiculares (setas brancas). Escala: 2cm.

5 - Discussão

Ocorrências de icnofósseis e rizólitos foram observadas em praticamente todo o afloramento, sendo a camada de 2 m logo acima dos ossos de dinossauro a mais bioturbada, tendo um índice 4 de bioturbação na escala de Taylor & Goldring (1993), com muitos rizólitos do tipo 2. Os rizólitos são mais abundantes na camada de calcrete. Essas evidências podem ser uma indicação de que na área mais bioturbada havia mais nutrientes. Por sua vez, na camada de calcrete, o baixo índice de bioturbação e sugere que as condições reinantes durante a deposição eram mais áridas quando comparadas

com a camada anterior. Contribuindo com essas inferências, a maioria dos rizólitos que estão no calcrete foi preservada na vertical (tipo 1) e o maior rizólito observado nas camadas mais inferiores (sem calcretização), encontra-se na horizontal, tendo uma possível relação com a firmeza do substrato da época (Fig. 7).

Dificuldades na identificação de espécimes ocorreram devido ao grau de bioturbação da rocha, que torna difícil a identificação de características básicas dos icnogêneros.

Atualmente são reconhecidas seis icnofácies de ambiente continental: *Scoyenia*, *Mermia*, *Coprinisphaera*, *Termitichnus*, *Celliforma*, e *Octopodichnus*–*Entradichnus* (Buatois & Mángano, 2011). A Icnofácies *Scoyenia* é caracterizada por uma abundância de escavações de alimentação meniscadas de posicionamento horizontal, trilhas e rastros de deslocamento, presença de escavações verticais cilíndricas, e possível interação entre invertebrados, vertebrados e marcas de raízes. É típica de substrato periodicamente exposto ao ar atmosférico ou de áreas periodicamente inundadas, caracterizando um ecótono entre ambientes aquáticos e terrestres. É comum em ambientes deposicionais associados à margens de lagos, margens de canais fluviais e barras arenosas ou planícies de inundação. Os icnogêneros mais comuns nessa paleoicnocenose são: *Beaconites*, *Scoyenia*, e *Taenidium*. (Buatois & Mángano, 2011; Miller III, 2007).

Considerando a abundância de *Beaconites* e *Taenidium* e a presença de fósseis de vertebrados (dinossauro saurópode e crocodilomorfo) e de rizólitos, assume-se aqui que esse conjunto represente uma associação de Icnofácies *Scoyenia*.

As análises estratigráficas e sedimentológicas indicam que depósitos de canais abandonados estão presentes no afloramento. Esses são sempre preenchidos por siltitos/lamitos (Figs. 2 e 3) com grãos de areia no topo da camada. As seções delgadas

mostram que os arenitos são geralmente mal selecionados, com grãos angulosos. Esses arenitos estão dispostos em bancos maciços e com grande continuidade lateral, podendo se estender por algumas dezenas de metros. Essas características, associadas à presença de icnofósseis de invertebrados e restos de grandes vertebrados (esqueleto semi-articulado de um dinossauro saurópodo) não suportam a interpretação de que esses depósitos correspondam a lençóis de areia eólicos (Dal'Bo *et al.*, 2010; Fernandes, 2010). Ao contrário, elas apontam para um sistema deposicional fluvial (como postulado por Batezelli, 2010), sendo semelhante ao sistema fluvial distal de rios dominados por areia do modelo 11 de Miall (1985), onde os arenitos caracterizam diferentes tipos de barras arenosas. A presença de barras é indicada pela exposição subaérea e desenvolvimento de paleossolo, que por processos de avulsão e/ou expansão de barras arenosas, cortaram canais preexistentes, os quais são geralmente mais estreitos que as barras arenosas, formando assim os canais abandonados observados no afloramento.

Rizólitos já foram descritos para a Formação Marília. Batezelli (2010) comentou que o Membro Echaporã é caracterizado por ser rico em marcas de raízes. Dal'Bó *et al.* (2010) citou ocorrências e Fernandes (2010) descreveu algumas ocorrências, tipos e importância, não tendo sido reportada, entretanto, nenhuma referência a micorrizas. Ocorrência de rizólitos é mais uma evidência de ambiente continental. Algumas amostras, ou seu padrão de ocorrência, indicam que a área foi, em certo grau, densamente habitada por plantas. Apesar de não ser possível associar esses rizólitos a um táxon específico, tentativamente são atribuídos a gimnospermas e/ou angiospermas dicotiledôneas, pois nenhum padrão de raiz do tipo monocotiledôneo foi observado.

Micorriza é a relação simbiótica entre fungos e plantas; 90% das plantas terrestres tem relação simbiótica mutualística com fungos do solo (Cairney, 2000). A evidência mais antiga de micorriza data do Ordoviciano (Simon *et al.*, 1993).

São reconhecidos sete tipos de micorrizas, mas alguns são muito semelhantes entre si. Micorrizas arbusculares representam o tipo mais comum, ectomicorrizas ocorrem em certas famílias de gimnospermas e dicotiledôneas, e em um gênero de monocotiledônea, os outros tipos são restritos a famílias de plantas específicas (Brundrett, 2002). As ectomicorrizas, micorrizas ericóides e orquidóides, assim como as raízes não colonizadas, evoluíram durante o período de rápida irradiação das angiospermas no Cretáceo (Brundrett, 2002).

As micorrizas observadas aqui têm como característica um manto em volta da raiz, como uma teia de cor branca, conhecida na literatura como rede de Hartig (Fig. 8). Podemos assim dizer pelas evidências que essas são ectomicorrizas, que são conhecidas pela influência na absorção de água e nutrientes e como barreira mecânica contra a penetração de patógenos (Peterson & Bonfante, 1994; Smith & Read, 1997). Pelo manto as hifas podem formar extensas redes de conexões, possibilitando a troca de nutrientes entre diferentes organismos, com a expansão das hifas ocorre o aumento da exploração do solo pela planta hospedeira, resultando na maior absorção de nutrientes e água (Costa *et al.*, 2002). Além das diferenças morfológicas entre raízes e micorrizas, também nota-se que as micorrizas geralmente são compostas por delicados filamentos tubulares. Parece surpreendente que as raízes maiores apenas se preservam na forma de moldes na maioria das vezes, enquanto as micorrizas apresentam melhor preservação. Entretanto, considerando que a parede celular da raiz é composta de celulose e a do fungo de quitina, uma melhor preservação da matéria produzida pelos fungos poderia ser esperada.

6 - Conclusão

Ocorrências de icnofósseis (*Beaconites* isp., *Skolithos* isp., *Taenidium barretti*), rizólitos associados a micorrizas são reportadas para o Membro Echaporã da Formação Marília no Estado de São Paulo.

As análises sedimentológicas indicam que o afloramento estudado corresponde a depósitos fluviais, com a predominância de barras arenosas e, esporços canais abandonados, que passaram por relativamente longos períodos de exposição subaérea.

A associação de icnofósseis, vertebrados e rizólitos indica o estabelecimento da Icnofácies Scoyenia nesse contexto sedimentar.

Restos de plantas são raramente encontrados em depósitos do Grupo Bauru. Os rizólitos descritos nesse trabalho permitem concluir que, apesar do clima semiárido, pelo menos dois tipos de plantas herbáceas/arbustivas estavam presentes na região. A distribuição e frequência desses rizólitos indicam que essa vegetação era relativamente densa na região.

7 - Agradecimentos

O financiamento para as escavações do dinossauro saurópodo, as quais resultaram na descoberta dos materiais descritos aqui, foi concedido pelo CNPq (número: 474381/2010-2). Agradecemos a André E. P. Pinheiro, Anete M. Oliveira, Daniel C. Fortier, Filipe A. A. Oliveira, Flávio A. Pretto, Henrique Z. Tomassi, Lucila M. Souza, Marcel B. Lacerda, e Marco B. Andrade pela valiosa ajuda durante as escavações. Parte dos equipamentos e materiais usados durante as escavações foi gentilmente cedida pelas seguintes empresas privadas: Searom Construtora, Replan Saneamento e Obras e ETC. Também agradecemos ao Corpo de Bombeiros de Marília, prefeituras de Júlio Mesquita e Marília, DAEE/São Paulo, DER e DNPM pela

assistência prestada. O desenvolvimento da dissertação foi financiado pelo CNPq por meio da bolsa 133295/2012-5.

8 - Referências

Alvarenga, H., Nava, W.R., 2005. Aves Enantiornithes do Cretáceo Superior da Formação Adamantina do Estado de São Paulo, Brasil. In: II Congresso Latino-Americano de Paleontologia de Vertebrados. Boletim de Resumos, Rio de Janeiro, p. 20.

Batezelli, A., Gomes, N.S., Perinotto, J.A. de J., 2005. Petrografia e Evolução Diagenética dos Arenitos da Porção Norte e Nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). Revista Brasileira de Geociências 35 (3), 311–322.

Batezelli, A., 2010. Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das Bacias Caiuá e Bauru no Sudeste brasileiro. Revista Brasileira de Geociências 40 (2), 265–285.

Bertini, R.J., Marshall, L.G., Gayet, M., Brito, P.M., 1993. The vertebrate fauna from the Adamantina and Marília formations. Upper Cretaceous of the Paraná Basin, Southeast Brazil. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 188, 71–101.

Bradshaw, M.A., 1981. Paleoenvironmental interpretations and systematics of Devonian trace fossils from the Taylor Group (lower Beacon Supergroup), Antarctica. New Zealand Journal of Geology and Geophysics 24, 615-652.

Brundrett, M.C., 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist* 154, 275–304.

Buatois, L., Mángano, M.G., 2011. *Ichnology Organism-Substrate Interactions in Space and Time*. Cambridge University Press, New York, 358 p.

Cairney, J.W.G., 2000. Evolution of mycorrhiza systems. *Naturwissenschaften* 87, 467–475.

Cardoso, C.D., Carvalho, I.S., Fernandes, A.C.S., 2013. O conteúdo icnológico da Formação Adamantina (Cretáceo superior, Bacia Bauru). In: XXIII Congresso Brasileiro de Paleontologia. Boletim de Resumos, Gramado, RS, pp. 300-301.

Carvalho, I.S., Fernandes, A.C.S., 2000. Icnofósseis. In: Carvalho, I.S. (Eds.), *Paleontologia*. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 95–118.

Carvalho, I.S., Gracioso, D.E., Fernandes, A.C.S., 2009. Uma câmara de coleóptero (*Coprinisphaera*) do Cretáceo Superior, Bacia Bauru. *Revista Brasileira de Geociências* 39, 679–684.

Costa, M.D., Pereira, O.L., Kasuya, M.C.M., Borges, A.C., 2002. Ectomicorrizas: A Face Oculta das Florestas. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento* 29, 38–46.

Dal' Bo, P.F.F., Basilici, G., Angelica, R.S., 2010. Factors of paleosol formation in a Late Cretaceous eolian sand sheet paleoenvironment, Marília Formation, Southeastern Brazil. *Elsevier palaeogeography, palaeoclimatology, palaeocology* 292, 349–365.

Dias-Brito, D., Musacchio, E.A., Castro, J.C., Maranhão, M.S.A.S., Suárez, J.M., Rodrigues, R., 2001. Grupo Bauru: uma unidade continental Cretácea no Brasil – concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos – *Revue Paléobiologic*, Genève 20, 245–304.

Dias-Brito, D., Musacchio, E.A., Maranhão, M.S.A.S., Suárez, J.M., Castro, J.C., 2002. Micropaleontologia do Grupo Bauru em Neves Paulista-Sp (Brasil) e uma primeira proposta de partição estratigráfica da Formação Adamantina em dois intervalos microbióticos. In: *Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*, 6. Boletim de Resumos, SBG, São Pedro, pp. 335–343.

Fernandes, A.C.S., Borghi, L., Carvalho, I.S., Abreu, C.J., 2002. Guia dos icnofósseis de invertebrados do Brasil. 1ª ed., Rio de Janeiro, Interciência, 260 p.

Fernandes, A.C.S., Carvalho, I.S., 2006. Invertebrate Ichnofossils From The Adamantina Formation (Bauru Basin, Late Cretaceous), Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 9, 211–220.

Fernandes, L.A., 1998. Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 216p.

Fernandes, L.A., 2004. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. Boletim Paranaense de Geociências 55, 53–66.

Fernandes, L.A., 2010. Calcretes e registros de paleossolos em depósitos continentais neocretáceos (Bacia Bauru, Formação Marília). Revista Brasileira de Geociências 40 (1), 19–35.

Fernandes, L.A., Coimbra A.M., 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). Anais da Academia Brasileira de Ciências 68 (2), 195-176.

Frey, R.W., 1975. The study of trace fossils. Springer, New York, 562 p.

Fulfaro, V.J., 1974. Tectônica do Alinhamento Estrutural do Paranapanema. Boletim do IG (Instituto de Geociências – USP) 5, 129–138.

Gobbo-Rodrigues, S.R., 2001. Carófitas e Ostrácodes do Grupo Bauru. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro SP, 137 p.

Gobbo-Rodrigues, S.R., 2002. Caulóides de Charophyta Maastrichtianos na Formação Marília (Grupo Bauru) na região de Uberaba (MG), Brasil. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 6, SBG, São Pedro, pp. 395–400.

Klappa, C.F., 1980. Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance. *Sedimentology* 27, 613–629.

Keighley, D.G., Pickerill, R.K., 1994. The Ichnogenus *Beaconites* and its distinction from *Ancorichnus* and *Taenidium*. *Palaeontology* 37 (2), 305–337.

Kellner, A.W.A., Azevedo, S.A.K., 1999. A new sauropod dinosaur (Titanosauria) from the Late Cretaceous of Brazil. In: *Proceedings of the Second Gondwana Dinosaur Symposium*, Tokyo, National Science Museum Monographs, pp. 111–142.

Mineiro, A.S., Santucci, R.M., Nava, W.R., 2013. Ocorrência dos icnogêneros *Skolithos* e *Taenidium* na Formação Marília, Grupo Bauru, Cretáceo Superior, Marília-SP. In: *XXIII Congresso Brasileiro de Paleontologia*. Boletim de Resumos, Gramado, RS, p. 308.

Melchor, R.N., Genise, J.F., Miquel, S.E., 2002. Ichnology, sedimentology and paleontology of Eocene calcareous paleosols from a palustrine sequence, Argentina. *Palaios* 17, 16–35.

Mezzalira, S., 1974. Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo* 51, 1–163.

Mezzalira, S., 1989. *Os Fósseis do Estado de São Paulo*. Instituto Geológico, São Paulo, 142 p.

Miall, A. D., 1985. Architectural element analysis: a new method of facies analysis applied to the fluvial deposits. *Earth-Science Reviews* 22, 261–308.

Milani, E. J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A., França, A.B., 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras* 15 (2), 265-287.

Miller III, W., 2007. Trace fossils: concepts, problems, prospects. Elsevier, Amsterdam, 611 p.

Morrissey, L.B., Braddy, S.J., 2004. Terrestrial trace fossil from the Lower Old Red Sandstone, southwest Wales. *Geological Journal* 39, 315–336.

Netto, R.G., 2007. *Skolithos*-dominated piperock in non-marine environments: An example from the Triassic Caturrita Formation, Southern Brazil. In: Bromley, R.G., Buatois, L.A., Mángano, M.G., Genise, J.F., Melchor, R.N. (Eds.), *Sediment-Organism Interactions: a Multifaceted Ichnology*. SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication, Tulsa 88, pp. 109–121.

Peterson, R. L., Bonfante, P., 1994. Comparative structure of vesicular-arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas. *Plant Soil* 159, 79–88.

Santucci, R.M., Bertini, R.J., 2001. Distribuição Paleogeográfica e Biocronológica dos Titanossauros (Saurishia, Sauropoda) do Grupo Bauru, Cretáceo Superior do Sudeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Geociência* 31, 307–315.

Schlirf, M., Uchman, A., Kümmel, M., 2001. Upper Triassic (Keuper) non-marine trace fossils from the Hassberge area (Franconia, south-eastern Germany). *Paläontologische Zeitschrift* 75, 71–96.

Seilacher, A., 2007. *Trace fossil analysis*. Springer, New York, 226 p.

Simon, L., Bousquet, J., Lévesque, R.C., Lalonde, M., 1993. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature* 363, 67–69.

Smith, S. E., Read, D. J., 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. London: Academic Press, 605 p.

Squires, R. L., Advocate, D.M., 1984. Meniscate burrows from Miocene lacustrine-fluvial deposits, Diligencia Formation, Orocopia Mountains, Southern California. *Journal of Paleontology* 58 (2), 593–597.

Taylor, A.M., Goldring, R., 1993. Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society of London* 150, 141–148.

Vasconcellos, F.M., Carvalho, I.S., 2010. Paleoichnological assemblage associated with *Baurusuchus salgadoensis* remains, a Baurusuchidae Mesoeucrocodylia from the Bauru Basin, Brazil (Late Cretaceous). *Bulletin of the New Mexico Museum of Natural History and Science* 51, 227–237.

Zaher, H.D., Langer, M.C., Fara, E., Carvalho, I.S., Arruda, J.T., 2003. A mais antiga serpente (Anilioidea) brasileira: Cretáceo Superior do Grupo Bauru, General Salgado, SP. *Paleontologia em Destaque* 44, 50–51.