

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
NÍVEL MESTRADO**

João Henrique Dobler Lima

**ICNOLOGIA DE DEPÓSITOS MARINHOS RASOS REGRESSIVOS: UM
EXEMPLO DO PERMIANO SUPERIOR DA BACIA DO PARANÁ**

**São Leopoldo
2010**

João Henrique Dobler Lima

**ICNOLOGIA DE DEPÓSITOS MARINHOS RASOS REGRESSIVOS: UM
EXEMPLO DO PERMIANO SUPERIOR DA BACIA DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Renata Guimarães Netto

Co-orientador: Prof^o. Dr. Ernesto Luiz Corrêa Lavina

**São Leopoldo
2010**

L732i Lima, João Henrique Dobler

Iconologia de depósitos marinhos rasos regressivos: um exemplo do permiano superior da Bacia do Paraná/ por João Henrique Dobler Lima. -- 2010.

87 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Geologia, São Leopoldo, RS, 2010.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Renata Guimarães Netto; Co-orientador: Prof. Dr. Ernesto Luiz Corrêa Lavina.

1. Geologia. 2. Icnofósseis. 3. Paleoambiente. 4. Paleoecologia. 5. Rio Grande do Sul - Formação Teresina. I. Título. II. Netto, Renata Guimarães. III. Lavina, Ernesto Luiz Corrêa.

CDU 551.7

Não se pode, apelando aos textos das Escrituras, colocar em dúvida um resultado manifestamente adquirido por observações seguras e provas suficientes.

Galileu Galilei

AGRADECIMENTOS

À Profª. Drª. Renata Guimarães Netto, orientadora deste trabalho, por ter apostado no meu futuro como pesquisador, pelo convite para ingressar no mundo da Icnologia, pelo ininterrupto acompanhamento desta pesquisa e por ter me proporcionado uma experiência de aprendizado agradável durante mais de dois anos.

Ao Prof. Dr. Ernesto Luiz Corrêa Lavina, na condição de co-orientador, por conduzir com sabedoria as discussões de caráter sedimentológico com um aluno formado em outra área e pela preocupação com a qualidade dos resultados, além da amizade a mim dedicada.

À Profª. Drª Tânia Lindner Dutra, ao Prof. Dr. Francisco Manoel Wohnrath Tognoli, à Profª. Drª Carla Klein e à Profª. Drª Noelia Carmona, pelas críticas e sugestões que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho nas avaliações do Seminário Inicial, do Seminário Final e da Defesa de Dissertação de Mestrado.

À equipe do Laboratório de História da Vida e da Terra – LaviGea – pelo cuidado dedicado às amostras e a prontidão em facilitar o acesso a elas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geologia da UNISINOS e a pesquisadores de outras universidades, pelo auxílio na busca a publicações imprescindíveis à argumentação contida neste trabalho.

À minha esposa e demais familiares, pelo incentivo nas fases mais críticas desta caminhada e pela paciência nos momentos em que tive de me fazer ausente.

Aos meus colegas de mestrado, pelos momentos de descontração e também de troca de informações e experiências.

Ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares (PROSUP) da CAPES, que custeou as despesas do curso junto à UNISINOS, e ao CNPq pelo auxílio financeiro (processo 303041/2007-2) concedido para a realização dos trabalhos de campo desse estudo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO SOBRE A FORMAÇÃO TERESINA.....	04
2.1 Aspectos estratigráficos e sedimentológicos.....	04
2.2 A faciologia e os registros fossilíferos.....	06
2.3 Paleoambientes.....	09
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Delimitação e descrição litológica da área de estudo.....	10
3.2 Descrição e análise da icnofauna.....	10
3.3 Organização da dissertação.....	11
4. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO.....	13
5. REVISÃO DA ICNOFAUNA DA FORMAÇÃO TERESINA NO CERRO CAVEIRAS (DOM PEDRITO, RS).....	17
6. ANÁLISE PALEOECOLÓGICA E PALEOAMBIENTAL.....	53
7. ASSINATURAS ICNOLÓGICAS E ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA.....	65
8. CONCLUSÕES.....	69
9. REFERÊNCIAS.....	70

RESUMO

Este estudo analisa e caracteriza a paleoicnologia dos depósitos da Formação Teresina aflorantes no Cerro Caveiras (Dom Pedrito, RS), com a intenção de refinar as interpretações paleoecológicas e paleoambientais existentes. A icnofauna dos depósitos analisados é composta por *Bergaueria* isp., *Cochlichnus anguineus*, *Cruziana problematica*, *Diplocraterion* isp., *Diplopodichnus biformis*, *Helminthopsis* isp., *Lockeia siliquaria*, *Multina minima*, *Palaeophycus striatus*, *Palaeophycus tubularis*, *Planolites beverleyensis*, *Planolites montanus*, *Scolicia* cf. *plana*, *Teichichnus* isp. e *Thalassinoides* isp. Esta assembléia foi dividida em duas suítes, uma delas sinalizando colonização em ambiente de água salobra e a outra reunindo estruturas que sugerem colonização em ambiente de água doce. Cinco fácies sedimentares foram descritas: (i) fácies de lamito; (ii) fácies de arenito fino com estratificação cruzada cavalgante; (iii) fácies de heterolito; (iv) fácies de arenito com estratificação cruzada acanalada e; (v) fácies de arenito fino a médio com estratificação cruzada *hummocky* (HCS) ou *swalley* (SCS). Estruturas sedimentares geradas por ondas dominam a sucessão e as associações de fácies sugerem deposição em zona de *shoreface* inferior/transição ao *offshore*. Feições geradas pela ação de correntes também são comuns. A recorrente substituição da suíte de água salobra pela suíte de água doce e a manutenção desta por mais tempo ao longo da sucessão indica significativo aporte de água doce no sistema. Esse padrão, aliado ao estabelecimento da suíte de água doce sempre após a deposição das fácies indicativas da ação de correntes sugere a influência de depósitos deltaicos na zona de *shoreface* inferior, em um contexto marinho raso restrito. Duas superfícies estratigráficas são sugeridas pela análise da icnofauna, uma co-planar (S1), composta por, pelo menos, uma superfície de erosão regressiva e uma superfície transgressiva, e uma de inundação (S2), que marca o momento de maior profundização e de maior teor de salinidade do sistema, na área de estudo. A integração dos dados icnológicos e sedimentológicos do Cerro Caveiras sugere que esta sucessão sedimentar possivelmente represente deposição em frentes deltaicas distais retrabalhadas por ondas.

Palavras-chave: icnofósseis, Formação Teresina, Rio Grande do Sul, assinaturas icnológicas, paleoambiente, paleoecologia.

ABSTRACT

This study analyzes and characterizes the paleoichnology of the Teresina Formation sedimentary rocks cropping out in Cerro Caveiras (Dom Pedrito, Rio Grande do Sul State, south of Brazil), aiming to refine the existing paleoecological and paleoenvironmental interpretations. The ichnofauna is composed of *Bergaueria* isp., *Cochlichnus anguineus*, *Cruziana problematica*, *Diplocraterion* isp., *Diplopodichnus biformis*, *Helminthopsis* isp., *Lockeia siliquaria*, *Multina minima*, *Palaeophycus striatus*, *Palaeophycus tubularis*, *Planolites beverleyensis*, *Planolites montanus*, *Scolicia* cf. *plana*, *Teichichnus* isp. and *Thalassinoides* isp., distributed in two main trace fossil suites, a brackish-water suite and a freshwater suite. Five sedimentary facies were described: (i) laminated or massive shale; (ii) fine-grained sandstone with climbing ripples; (iii) heterolithic deposits; (iv) trough cross-stratified sandstone; and (v) hummocky and swalley cross-stratified sandstone. Wave-generated structures predominates and facies associations suggest deposition in lower shoreface/offshore transition setting. Current-generated structures are also common. The recurrent replacement of brackish-water suite by freshwater suite and the maintenance of the last one for more time in the sedimentary succession suggest a significative input of freshwater into the marine zones. This pattern, and the fact that freshwater suite settlement always occur after the current-generated sandstone deposition suggest deltaic influence in the lower shoreface, in a restricted shallow sea context. Two stratigraphic surfaces should be inferred by trace fossil analysis: a co-planar surface (S1), composed of a regressive erosion surface and a transgressive surface, at least, and a flooding surface (S2), which marks the deepest and saltiest episode in the depositional system at the study area. The integrated analysis involving the ichnology and sedimentology of the Cerro Caveiras succession suggest that it possibly represents a distal expression of wave-dominated delta fronts.

Key words: trace fossils, Teresina Formation, Rio Grande do Sul State, ichnological signatures, paleoenvironment, paleoecology.

1. INTRODUÇÃO

Há consenso geral que a sequência equivalente ao Grupo Passa Dois evoluiu a partir de uma bacia marinha rasa, extensa, aplainada, estável, com taxa de sedimentação muito baixa para uma província fisiográfica continental (Formação Rio do Rasto), sob condições climáticas quentes e relativamente secas (*e.g.* Rohn, 1989; Lavina, 1991; Milani, 1997; Milani *et al.*, 2007). As divergências nas interpretações referem-se, principalmente, ao caráter da influência marinha (direta, indireta ou inexistente), ao modo de progradação da costa ou de preenchimento da bacia, e ao comportamento tectônico da área no final da deposição do Grupo Passa Dois (Rohn, 1989).

Apesar da aparente simplicidade da Formação Teresina, as interpretações dos paleoambientes e da história deposicional têm sido bastante variadas e especulativas. A principal discussão se dá em torno dos processos que geraram as estruturas sedimentares identificadas e sua compatibilidade com o registro fóssilífero e icnofossilífero da formação (*e.g.* Figueiredo Filho, 1972; Gama Jr., 1979; Lavina, 1991; Netto, 1992; Klein *et al.*, 1999; Elias *et al.*, 2000).

A fauna fóssil, representada principalmente por bivalves endêmicos e restos de peixes, não permite identificar definitivamente a natureza do meio aquático: se marinho, marinho restrito ou lacustre (Netto, 1992; Rohn, 1994, 1995; Klein *et al.*, 1999; Richter, 2005). A salinidade da água, de acordo com dados geoquímicos e paleontológicos, pode ter sido bastante variável (Beurlen, 1957; Lavina, 1991; Klein *et al.*, 1999; Rohn, 2001; Richter, 2005).

As rochas da sucessão aflorante escolhida para esta pesquisa evidenciam estruturas sedimentares primárias que, segundo Netto (1992), sugeririam um ambiente marinho muito raso, onde depósitos de “barras de tempestade” teriam sido retrabalhadas por correntes de maré. A autora sugeriu, ainda, que as assembléias icnofossilíferas descritas na sucessão teriam se desenvolvido em um “ambiente misto”, a julgar pela presença de depósitos continentais sobrepostos, e que tal ambiente experimentaria condições de moderada a baixa energia hidrodinâmica na maior parte do tempo.

As fácies sedimentares descritas nesta pesquisa para o afloramento Cerro Caveiras se assemelham muito àquelas descritas por Lavina (1991) e interpretadas como geradas exclusivamente pela ação de ondas, no caso dos pelitos com acamadamento ondulado e lenticular, ou por tempestades provenientes da região polar, no caso dos arenitos com estratificação cruzada *hummocky*.

Notadamente, apesar da contínua evolução do conhecimento acerca de depósitos sedimentares gerados em ambientes marinhos rasos, interpretações paleoambientais precisas são um desafio para os pesquisadores que se utilizam somente de dados sedimentológicos, já que, frequentemente, uma sucessão de fácies marinha pode ser indistinguível de uma sucessão deltaica ou estuarina gerada pelos mesmos processos físicos (Reading & Collinson, 1996; Bhattacharya & Giosan, 2003; Hill *et al.*, 2003; Howell & Flint, 2003).

O conjunto da icnofauna, a forma como seus componentes se organizam e seus vínculos faciológicos caracterizam as assinaturas icnológicas, que marcam os eventos deposicionais aos quais estão associadas (Bromley, 1996; Pemberton *et al.*, 2001; Buatois *et al.*, 2002). Assim, a análise das assinaturas icnofossilíferas presentes nessas superfícies, juntamente com os processos paleoecológicos aos quais seus produtores estariam sujeitos, pode revelar sob que condições ambientais foram geradas e de que forma estes organismos respondiam aos fatores ambientais atuantes na época da deposição.

Uma vez que os resultados interpretativos das assinaturas icnológicas e das litofácies da área do estudo fornecem subsídios para inferências paleoecológicas e paleoambientais, parece bastante adequado o uso de uma ferramenta diferenciada na solução do problema apresentado: a análise icnológica aplicada à interpretação da gênese de depósitos sedimentares.

A integração dos dados sedimentológicos e icnológicos tem auxiliado em uma diferenciação mais segura entre os depósitos gerados em contextos de *offshore* e *shoreface* marinhos, em geral, mas também em ambientes transicionais, sujeitos a alterações físico-químicas constantes (*e.g.* Pemberton *et al.*, 1992a; MacEachern & Pemberton, 1992; Pemberton *et al.*, 2001; Netto & Rosseti, 2003; Tognoli & Netto, 2003; Bann & Fielding, 2004; MacEachern *et al.*, 2005; Buatois *et al.*, 2007; Gani *et al.*, 2007; MacEachern *et al.*, 2007).

Esta estratégia dá suporte à inferência dos parâmetros ambientais limitantes à fauna bentônica e dos principais processos envolvidos na gênese dos depósitos, quais sejam a influência de correntes fluviais, de correntes de marés, de ondas e de tempestades (*e.g.* Howell & Flint, 2003; Bann & Fielding, 2004; MacEachern *et al.*, 2005; Gani *et al.*, 2007; Hansen & MacEachern, 2007; Buatois *et al.*, 2008).

Diante disso, este trabalho inclui um estudo revisivo da icnofauna da Formação Teresina no afloramento Cerro Caveiras e a vinculação destas estruturas sedimentares biogênicas às fácies sedimentares da sucessão aflorante, com os seguintes objetivos: (i) redescrever a icnofauna do afloramento Cerro Caveiras, a partir de critérios-base para classificação icnotaxonômica; (ii) redescrever as fácies presentes na sucessão sedimentar exposta no Cerro

Caveiras, em escala de detalhe; (iii) reconhecer as associações de fácies e as assembléias de traços fósseis nelas presentes; (iv) definir as assinaturas icnológicas dos depósitos descritos; e (v) promover a análise integrada das associações de fácies e da icnofauna e refinar as interpretações paleoecológicas e paleoambientais.

2. EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO SOBRE A FORMAÇÃO TERESINA

2.1 Aspectos estratigráficos e sedimentológicos

A Formação Teresina pertence ao Grupo Passa Dois da bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, que é composto também pelas formações Irati, Serra Alta, Rio do Rasto e Pirambóia (Wildner *et al.*, 2006). Essa caracterização litoestratigráfica se mantém praticamente a mesma desde a proposição original feita por Gordon Jr. (1947) para a porção centro-sul da bacia, respeitadas apenas as mudanças de categoria litoestratigráfica decorrentes das revisões feitas por Mendes (1961).

No Rio Grande do Sul, contudo, as formações Serra Alta e Teresina não foram reconhecidas por Figueiredo Filho (1972) como tal, tendo sido incluídas a primeira como parte da Formação Irati (Fácies Valente) e a segunda como a parte basal (Fácies Caveiras) da então proposta Formação Estrada Nova (Figura 1), cuja seção-tipo foi definida na localidade de Cerro Caveiras (Dom Pedrito, RS), área-alvo dessa dissertação. Com base na presença de laminação planoparalela e na abundância de pelitos, Figueiredo Filho (1972) interpretou os depósitos da Fácies Caveiras como gerados em ambiente subaquoso lagunar. Os estudos revisivos de caráter regional da litoestratigrafia da bacia do Paraná feitos por Schneider *et al.* (1974) recuperaram as denominações originais propostas por Gordon Jr. (1947) para o Rio Grande do Sul e, desde então, a unidade litoestratigráfica Teresina vem sendo tratada em nível de formação (Figura 1).

Figueiredo Filho (1972)		Schneider <i>et al.</i> (1974)	
Formação Estrada Nova	Fácies Armada	Formação Rio do Rasto	Membro Morro Pelado
	Fácies Caveiras	Formação Teresina	Membro Serrinha

Figura 1. Comparação entre as propostas litoestratigráficas feitas por Figueiredo Filho (1972) e Schneider *et al.* (1974) para o intervalo que compreende os depósitos da Formação Teresina no Rio Grande do Sul.

Dentre os estudos de caráter regional feitos sob a ótica da estratigrafia de sequências na bacia do Paraná destacam-se os de Milani (1997) e Milani *et al.* (2007), que reconheceram diversas supersequências na bacia, sendo a Formação Teresina parte da Supersequência Gondwana I (Figura 2). Segundo Milani *et al.* (2007), as rochas da Formação Teresina são

depósitos que se desenvolveram acompanhando uma definitiva tendência regressiva em grande escala, representando sedimentação em ambiente marinho raso.

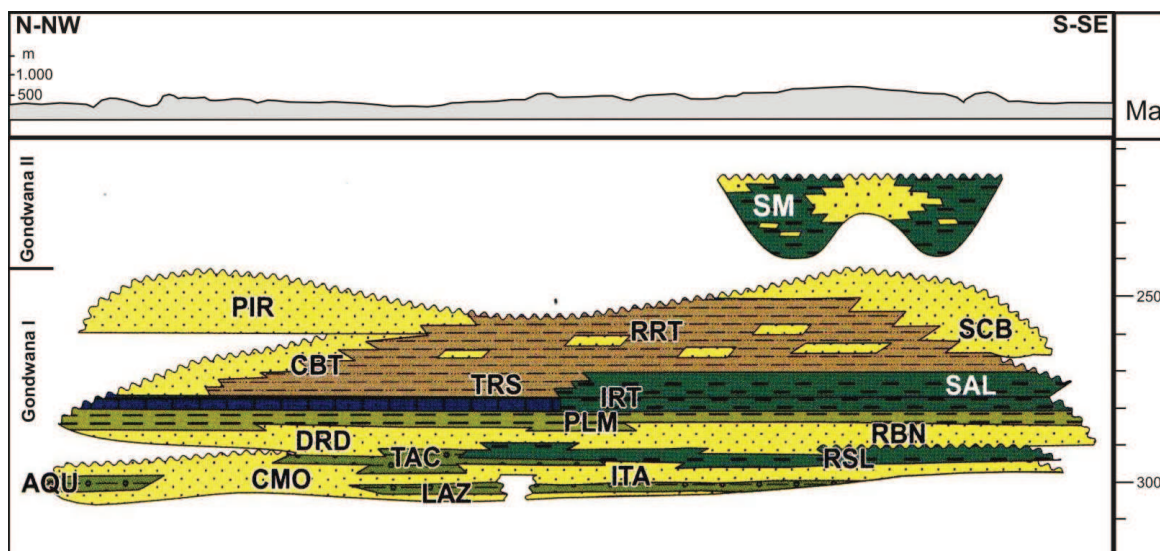


Figura 2. Representação estratigráfica do intervalo permo-triássico da bacia do Paraná, evidenciando a Supersequência Gondwana I, na qual se situa a Formação Teresina (modificado de Milani *et al.*, 2007). Abreviações: AQU, Formação Aquidauana; CBT, Formação Corumbataí; CMO, Formação Campo Mourão; IRT, Formação Irati; ITA, Formação Itararé; LAZ, Formação Lagoa Azul; PIR, Formação Pirambóia; PLM, Formação Palermo; RBN, Formação Rio Bonito; RRT, Formação Rio do Rastro; RSL, Membro Rio do Sul; SAL, Formação Serra Alta; SCB, Formação Sanga do Cabral; SM, Formação Santa Maria; TAC, Formação Taciba; TRS, Formação Teresina.

Os depósitos aflorantes da Formação Teresina são pouco espessos, o que dificulta os estudos de correlação com unidades geograficamente distantes e, por vezes, até mesmo seu reconhecimento. Diante disso, o uso de testemunhos de sondagem revelou-se desde o início uma estratégia bastante eficaz para o conhecimento das variações de caráter litológico na Formação Teresina e solucionou questões de diferenciação estratigráfica desta formação em relação ao restante do Grupo Passa Dois.

Ao descrever a Formação Teresina, Schneider *et al.* (1974) destacaram sua distribuição desde o Rio Grande do Sul até o nordeste do Paraná, que sua espessura máxima constatada foi de 318 m no poço 2-CM-1-PR (Campo Mourão, PR) e que seus contatos com as formações Serra Alta e Rio do Rasto são concordantes. Porém, Rohn *et al.* (2003) identificaram no furo de sondagem SP-23-PR, feito na cidade de Congonhinhas (PR), um intervalo de 350 m correspondente à Formação Teresina e verificaram que, neste testemunho, a passagem da Formação Serra Alta para a Formação Teresina é gradual, mas entre esta e a Formação Rio do Rasto a passagem é abrupta, provavelmente discordante. Depósitos equivalentes à Formação Teresina, segundo Rohn (1989), também foram seguramente identificados no Uruguai (parte

da Formação Paso Aguiar ou parte da Formação Melo) e no Paraguai (parte da Formação Independência).

O apontamento das características litológicas e dos elementos reconhecidos como típicos dos depósitos da Formação Teresina exibiu poucas alterações ao longo dos anos, dando conta de que a granulometria dos sedimentos que a compõe raramente ultrapassa o padrão de areia média. São mencionadas espessas camadas de folhelhos cinza escuros na porção basal e de calcários no terço superior da unidade (Mendes, 1961; Schneider *et al.*, 1974; Rohn, 1989). É comum a presença de argilitos intercalados a siltitos cinza, mas é a alternância de folhelhos e siltitos escuros com arenitos muito finos cinza claro que dá origem ao acamadamento *flaser*, característico da formação (Schneider *et al.*, 1974). Outros componentes de caráter recorrente na bibliografia são as fendas de ressecamento nas rochas heterolíticas e as camadas de calcário oolítico (*e.g.* Schneider *et al.*, 1974; Rohn, 1989; Lavina, 1991).

2.2 A faciologia e os registros fossilíferos

No tocante às fácies definidas ao longo da história dos estudos dedicados à Formação Teresina, pode-se citar: (a) fácies de folhelho cinza-azulado, calcífero, com *ripple marks* (Gordon Jr., 1947; Mendes, 1961); (b) fácies de folhelho cinza escuro, fácies de pelitos, onde as cores cinza e vermelha se alternam, contendo abundantes concreções calcárias (Figueiredo Filho, 1972); (c) fácies de siltito cinza-claro, com marcas onduladas e estratificação cruzada de pequena escala (Gama Jr., 1979); (d) fácies de pelitos com acamadamento ondulado e lenticular, fácies de arenitos com estratificação cruzada *hummocky* (Lavina, 1991; Klein *et al.*, 1999); (e) fácies de arenitos com *scaloped cross-bedding* (Lavina, 1991); (f) fácies de pelitos vermelhos (Klein *et al.*, 1999).

A paleofauna da Formação Teresina é composta por briozoários, dentes e escamas de peixes, pelecípodes, bivalves e conchostráceos (Netto, 1992; Rohn, 1994, 1995; Klein, 1999; Richter, 2005). Os registros de paleoflora ocorrem especialmente nos estados de Santa Catarina e Paraná, e contêm os gêneros *Krauselcladus*, *Glossopteris*, *Lycopodiopsis* e *Paracalamites*, além de briófitas, carófitas, licófitas e esfenófitas (Rohn *et al.*, 1997a,b; Fanton *et al.*, 2006). A icnofauna da Formação Teresina foi descrita por Netto (1988, 1992) nas regiões de Dom Pedrito e São Gabriel (RS) onde foram identificados *Cochlichnus sp.*, *Flabellichnus nowatzkii*, *Helminthopsis tenuis*, *Isopodichnus problematicus*, *Planolites*

beverleyensis, *Planolites montanus*, *Teichichnus rectus*, *Thalassinoides suevicus* e *Unarites sp.*

De um modo geral, as fácies descritas para a Formação Teresina foram interpretadas pelos autores acima citados como geradas em um paleoambiente subaquático provido, pelo menos de forma temporária, de um nível de salinidade superior ao encontrado nos atuais corpos de “água doce”. A principal divergência sobre o contexto paleoambiental representado pelas rochas da Formação Teresina se dá em torno de que processos teriam gerado as estruturas sedimentares identificadas e como tais processos se relacionam com o registro fóssilífero e icnofóssilífero da formação, que, em sua maioria, sugerem a presença de águas salobras.

São comuns nos depósitos da Formação Teresina a alternância de finas lâminas de folhelho e siltito, com laminação lenticular ou *flaser*, marcas onduladas e estratificações cruzadas de pequena escala. Para Gama Jr. (1979), estas estruturas evidenciariam decantação de finos em suspensão, alternando com correntes de marés em condições marinhas de inframaré. Para Netto (1992), os depósitos aflorantes no Cerro Caveiras representariam sedimentação episódica durante uma fase regressiva, uma vez que a lama marinha da Formação Teresina está intercalada por barras originadas em eventos de tempestade. Ainda, a presença de estratificação cruzada tipo “*herring-bone*” observada pela autora, aliada à ocorrência de arenitos arcoseanos interpretados como depósitos de canais lhe permitiram sugerir que as barras poderiam ter sido retrabalhadas pela ação da maré, e que correntes de maré teriam passado através das barras, produzindo canais durante a fase regressiva da deposição.

A defesa da hipótese das planícies de marés como ambiente deposicional dominante durante a sedimentação da Formação Teresina se sustentava no paradigma da época em que estes trabalhos foram publicados, segundo o qual os acamadamentos *flaser*, lenticular e ondulado seriam elementos diagnósticos da ação de marés. Contudo, Raaf *et al.* (1977) já propunham que laminações onduladas, camadas com topo ondulado (*wave ripples*), ondulações assimétricas e a presença de *drapes* de lama no interior dos leitos arenosos fossem critérios para o reconhecimento da ação de ondas. Este autor creditou até mesmo a geração de estratificação cruzada tipo *herringbone* ao fluxo oscilatório das ondas. Além disso, Hawley (1981) concluiu que a ação de tempestades teria mais chance de originar o acamadamento *flaser* que a maré, já que o ciclo desta última seria curto demais para permitir que a lama depositada adquirisse espessura e resistência suficientes para não sofrer erosão total por correntes.

Com base nessas conclusões, Lavina (1991) associou a origem da sua fácies de pelitos com acamadamento ondulado e lenticular tão somente à ação de ondas. O autor fez, entretanto, a ressalva de que em outras situações a maré também pode ser responsável pela geração de acamadamento lenticular e *flaser*, além de lembrar que a granulometria fina disponível no sistema inibe a formação de *sand waves*, que seriam uma forte evidência da atuação de correntes de marés.

Lavina (1991) distinguiu também, na parte superior da Formação Teresina, uma fácies de arenitos com estratificação cruzada *hummocky*, tendo discutido se a origem desta estrutura sedimentar estaria ligada à ação de fluxos puramente oscilatórios ou a uma combinação destes com correntes unidirecionais. De qualquer forma, ficou claro para o autor que a geração desta fácies teria relação com ondas de tempestade, mais especificamente aquelas oriundas da região polar, já que a região da bacia do Paraná, durante o Permiano, estava confinada a paleolatitudes maiores do que 40°, o que torna pouco provável que furacões tenham originado os arenitos com *hummocky*.

Os únicos estudos disponíveis cujas conclusões estão embasadas nos dados fornecidos pelos registros icnológicos, em áreas vinculadas à Formação Teresina, foram aqueles realizados por Netto (1988, 1992). Netto (1988) dividiu a assembléia da Formação Teresina em duas icnocenoses. A icnocenose A, restrita à região de Tiarajú (São Gabriel, RS), compreendia os icnogêneros *Planolites*, *Teichichnus* e *Thalassinoides* e indicaria deposição rápida e constante do sedimento, em ambiente de moderada a alta energia. Por sua vez, a icnocenose B, registrada no Cerro Caveiras (Dom Pedrito, RS), continha *Cochlichnus*, *Flabellichnus*, *Helminthopsis*, *Isopodichnus*, *Planolites*, *Thalassinoides* e *Unarites*, e seria sugestiva de ambiente com baixa energia hidrodinâmica.

Desde então, nenhum outro estudo abordou a icnofauna dessas duas localidades. Contudo, a melhor definição de critérios para a descrição morfológica de icnofósseis, a partir do estabelecimento das icnotaxobases (Bromley, 1990), abriu espaço para uma série de estudos revisivos, impactando na classificação de muitos icnotáxons. Além disso, o incremento da pesquisa sobre a icnologia de depósitos de água doce (e.g. Buatois & Mángano, 1993, 1995, 2004, 2007; Bromley, 1996; Gibert *et al.*, 2000; Buatois *et al.*, 2002) e de água salobra (e.g. Pemberton & Wightman, 1992; Bann & Fielding, 2004; Buatois *et al.*, 2005, 2008; MacEachern *et al.*, 2005, 2007) aportou novas informações sobre a distribuição das icnofaunas em contextos marinhos rasos e marginais-marinhos estressados por flutuações de salinidade, como estuários e deltas, ou por taxas reduzidas de oxigenação (e.g. Bromley, 1996; Netto, 2001; Buatois *et al.*, 2002, 2005; Martin, 2004; MacEachern *et al.*, 2007; Savrda,

2007). Desta forma, é certo que os novos parâmetros disponíveis para a análise paleoecológica e paleoambiental desses depósitos têm potencial para auxiliar no melhor entendimento do significado dessa icnofauna.

2.3 Paleoambientes

Poucos autores se dedicaram ao estudo dos paleoambientes da Formação Teresina no Rio Grande do Sul. Figueiredo Filho (1972) interpretou que os depósitos da Formação Teresina (à época por ele alocados na Fácies Caveiras da Formação Estrada Nova) ter-se-iam depositado em ambiente lagunar, baseado na presença de laminação planoparalela e na abundância de pelitos. Netto (1988, 1992) analisou a faciologia e a icnofauna dos afloramentos Cerro Caveiras e Tiarajú, concluindo que as estruturas descritas forneciam indícios de deposição em planícies de maré. A autora definiu nestes estudos fácies de barreiras, de inframarés, de intermarés, de frentes deltaicas e de sedimentação fluvial. Para Lavina (1991), as sucessões expostas no Rio Grande do Sul associadas ao Grupo Passa Dois, do qual a Formação Teresina faz parte, refletem a existência de um mar intracontinental (ou epicontinental) de salinidade reduzida. Klein *et al.* (1999), a partir da litologia e das variações faunísticas associadas a peixes e pelecípodes da Formação Teresina na região de Tiarajú (São Gabriel, RS), sugeriram um registro de flutuação relativa do nível do mar. Em síntese, tais estudos apontam para um paleoambiente deposicional subaquático originalmente salino, sujeito a flutuações de salinidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Delimitação e descrição litológica da área de estudo

A área de estudo situa-se na localidade de Cerro Caveiras, a oeste de Dom Pedrito (RS), cujo acesso se dá pela BR-290 e, posteriormente, por via secundária não pavimentada (Figura 1 do capítulo 5). O levantamento do perfil litológico teve início na estrada que dá acesso ao Cerro Caveiras, no ponto entre as coordenadas UTM 0706867E/6580577N, faixa 21 J, e encerrou-se no topo do morro testemunho (coordenadas 0707057E/6581133N, faixa 21 J).

Para a descrição da sucessão aflorante, foram realizadas três saídas a campo, durante as quais foram caracterizadas as litologias dos depósitos. Cinco fácies sedimentares foram descritas com base em atributos como textura, geometria, estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero. Paralelamente, foi avaliado o conteúdo icnofossilífero, com o levantamento dos icnotáxons presentes em cada camada e com a medição do índice de bioturbação, usando para tanto a proposta de Taylor & Goldring (1993). O perfil representativo da sucessão estudada foi graficado em CorelDraw 14, sendo a simbologia utilizada para icnofósseis pertencente ao arquivo pessoal de R.G. Netto. Após a montagem do perfil e distribuição dos icnotáxons por nível de ocorrência, elaborou-se uma curva de salinidade, a partir da informação obtida pela análise da icnofauna.

3.2 Descrição e análise da icnofauna

Os espécimes analisados nesse estudo estão depositados no repositório de icnofósseis do Laboratório de História da Vida e da Terra (LaViGea) da UNISINOS, tendo sido originalmente descritos por Netto (1988, 1992). Foram revisadas as amostras de número EO-009, U-1575/I-008, U-1576/I-009, U-1640/I-033, U-1641/I-035, U-1643/I-036, U-1651/I-039 a U-1659/I-047, U-1662/I-050 a U-1679/I-067, U-1682/I-070 a U-1690/I-078, U-1692/I-080, U-1693/I-081, U-1695/I-083 a U-1698/I-086, U-1700/I-088 a U-1703/I-091, U-1705/I-093, U-1707/I-095 a U-1712/I-101, U-1714/I-103 a U-1719/I-108, U-1721/I-110 e U-1723/I-112 a U-1728/I-117. As amostras U-1573/I-006 e EO-70, contendo os icnogêneros *Flabellichnus*, *Helminthopsis* e *Isopodichnus* e coletadas na área de estudo não foram localizadas na coleção.

Além dos espécimes acima, foram analisados novos espécimes, em amostras coletadas durante a realização desse estudo, as quais foram catalogadas no LaViGea sob os números ULVG-7802 a ULVG-7806. Os espécimes foram descritos a partir dos critérios de

icnotaxobases proposto por Bromley (1990) e comparados com a literatura especializada. O registro fotográfico dos espécimes mais representativos foi feito com luz natural e uso de câmera digital com 8 megapixels, zoom ótico 3x e macro de 50 mm. As ilustrações dos icnofósseis descritos nessa dissertação foram inseridas nas figuras 4 e 5 do capítulo 5.

Concluída a fase de descrição e classificação dos icnofósseis, foi feita a análise da assembléia icnofossilífera encontrada, para determinação de assinaturas icnológicas predominantes, de forma a gerar interpretações mais precisas e relevantes para estudos estratigráficos de detalhe. Uma vez definidas as assinaturas icnológicas, procedeu-se ao estudo da bibliografia composta por assembléias equivalentes, de modo a buscar subsídios para as interpretações paleoecológicas e paleoambientais.

3.3 Organização da dissertação

O método de exposição dos dados obtidos durante este trabalho foi elaborado de forma a facilitar sua leitura e respeitar as normas preconizadas pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia e pela Biblioteca Central da UNISINOS.

Sendo assim, o capítulo 1 traz uma introdução ao assunto estudado e os objetivos da dissertação. O capítulo 2 foi elaborado de forma a apresentar o estado atual do conhecimento acerca da sedimentologia, faciologia, registros fossilíferos e paleoambientes interpretados em depósitos da Formação Teresina. No capítulo 3, são apresentados os materiais de estudo e os métodos de trabalho e no capítulo 4 é delineada a geologia da área de estudo.

O capítulo 5, por sua vez, representa a redescrição da icnofauna que compõe esta dissertação, na forma de um artigo submetido à Revista Brasileira de Paleontologia em 27/06/10. Embora mencionadas ao longo da dissertação, as figuras do capítulo 5 seguem numeração à parte, exclusiva do artigo em submissão, enquanto as figuras dos outros parágrafos seguem a numeração da dissertação. Ao término deste capítulo, são listadas apenas as referências bibliográficas nele citadas. Uma vez que o artigo ainda não foi publicado, a numeração de suas páginas é única e segue a sequência do restante da dissertação.

No capítulo 6 são processadas as análises paleoecológica e paleoambiental dos depósitos da Formação Teresina aflorantes no Cerro Caveiras, com base na integração dos dados icnológicos e sedimentológicos analisados. As assinaturas icnológicas e a análise estratigráfica da área de estudo são discutidas no capítulo 7, completando o processamento das informações colhidas durante a pesquisa e resultando nas interpretações que esta dissertação objetiva fornecer.

No capítulo 8 estão organizadas as principais conclusões obtidas, em obediência aos objetivos propostos para esta dissertação. Por fim, o capítulo 9 é composto por todas as referências bibliográficas contidas na dissertação, complementares àquelas já apresentadas no capítulo 5.

4. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

O afloramento Cerro Caveiras, objeto desse estudo, expõe rochas de idade permiana que caracterizam os depósitos da Formação Teresina, que é parte do Grupo Passa Dois da bacia do Paraná. Estudos de geologia regional incluindo a Formação Teresina vêm sendo realizados desde meados do século XX (Beurlen, 1957; Mendes, 1961; Figueiredo Filho, 1972; Schneider *et al.*, 1974; Gama Jr., 1979; Rohn, 1989; Lavina, 1991; Milani, 1997; Klein *et al.*, 1999; Milani *et al.*, 2007).

O levantamento de campo feito na área de estudo permitiu reconhecer cinco fácies sedimentares na sucessão, as quais se associam entre si e formam ciclos grano e estratocrescentes que se empilham em padrão agradacional, compondo o padrão típico de parassequências na maior parte da sucessão.

Fácies de lamito. Composta por siltitos e argilitos interlaminados ou por argilitos maciços, e tem sua melhor expressão no primeiro 0,5 m da sucessão, onde não foi observada bioturbação. No topo da sucessão, contém *Mulina mínima* e *Planolites montanus* (Figura 3A).

Fácies de arenito fino com laminação cruzada cavalgante. Composta por arenito fino com laminação cruzada cavalgante e acamadamento *wavy*. Ocorre em camadas de espessura centimétrica a decimétrica que, por vezes, se mostra maciça ou apresenta laminação planoparalela na base (Figura 3B). Os topos mostram marcas de ondulação assimétricas. Contém pistas de pastagem indeterminadas.

Fácies de heterolito. Constituída por siltitos arroxeados maciços ou por siltitos interlaminados com argilitos, intercalados a camadas de arenito muito fino, de coloração mais clara que a dos lamitos, de espessura centimétrica. Os arenitos em geral exibem continuidade lateral, formando acamadamento *wavy*, mas podem também ocorrer como lentes de escala centimétrica (acamadamento lenticular) (Figura 3C). Acamadamento *flaser* ocorre associado. A espessura das camadas e a granulometria dos arenitos aumenta para o topo da sucessão, formando ciclos grano e estratocrescentes. Marcas de ondulação simétricas são dominantes nesta fácies (Figura 3D). Contém *Bergaueria* isp., *Cochlichnus anguineus*, *Cruziana problematica*, *Diplocraterion* isp., *Diplopodichnus biformis*, *?Helminthoida* cf. *alterna*, *Henthopsis* isp., *Lockeia siliquaria*, *Palaeophycus striatus*, *P. tubularis*, *Planolites beverleyensis*, *P. montanus*, *Scolicia* cf. *plana*, *Teichichnus* isp., *Thalassinoides* isp. e pistas de pastagem indeterminadas.

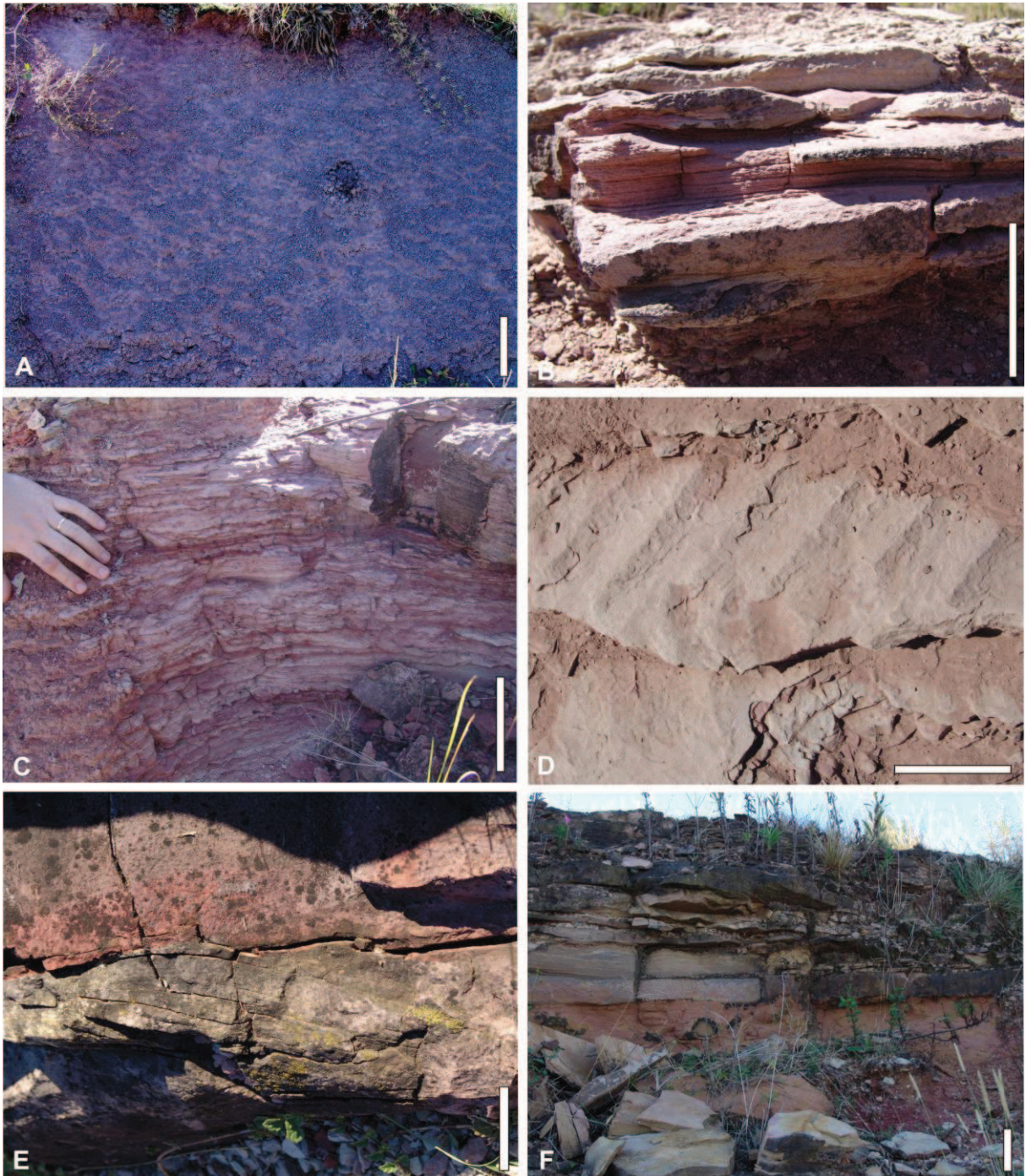


Figura 3. Fácies sedimentares da Formação Teresina expostas no Cerro Caveiras. Escalas: 10 cm.

Fácies de arenito com estratificação cruzada acanalada. Cosposta por arenitos finos a médios, de geometria lenticular e coloração avermelhada. Na base, contém estratificação cruzada acanalada, com acamadamento *drape* nas calhas das estratificações cruzadas, e, no topo, laminação planoparalela, com intraclastos pelíticos medindo cerca de 1 mm de diâmetro (Figuras 3E). Os topos são ondulados, apresentando marcas de ondulação assimétricas. Superfícies de reativação são comuns. Não registra bioturbação.

Fácies de arenito com HCS e SCS. Composta por arenitos finos, de geometria lenticular, com estratificação cruzada tipo *hummocky* (HCS) e, por vezes, estratificação cruzada tipo *swaley* (SCS) (Figura 3F). Esta fácies está presente na metade superior da sucessão, sempre associada à fácies de heterolito havendo, entre elas, contatos erosivos. Não registra bioturbação.

Na sucessão analisada, nenhuma camada possui granulometria superior a areia média. Intraclastos são observados somente na fácies de arenito com estratificação cruzada acanalada.

A fácies de lamito ocorre de forma mais expressiva na base da sucessão e reflete um longo período de águas calmas e de domínio da deposição por decantação, em regiões distantes o bastante da área fonte para inibir a chegada das areias (Lavina, 1991). A fácies de heterolito predomina ao longo da sucessão sedimentar e é marcada pela abundância em laminações cruzadas bi ou unidirecionais, estruturas que sugerem domínio da ação de ondas (*e.g.* Raaf *et al.*, 1977; McCubbin, 1982; Lavina, 1991; Walker & Plint, 1992; Greenwood, 2006).

A fácies de arenito com laminação cruzada cavalgante em geral interrompe a deposição da fácies de heterolito e sugere acúmulo de sedimentos em regime de fluxo inferior, a partir da ação de correntes unidirecionais (*e.g.* Walker & Plint, 1992; Reading & Collinson, 1996; Cheel, 2005), possivelmente vindas do continente. A fácies de arenito com estratificação cruzada acanalada também interrompe a deposição da fácies de heterolito e mostra camadas amalgamadas, sugerindo eventos erosivos e evidenciando uma mudança no regime de fluxo ao longo da deposição, onde processos atuando em regime de fluxo inferior dariam lugar a outros em regime de fluxo superior (*e.g.* Walker & Plint, 1992; Reading & Collinson, 1996; Cheel, 2005). Tanto a fácies de arenito fino com laminação cruzada cavalgante quanto a de arenito com estratificação cruzada acanalada sugerem deposição por correntes, provavelmente vindas do continente, em um contexto mais raso que os depósitos das fácies de lamito e de heterolito.

A fácies de arenito com HCS e SCS se destaca na porção média da sucessão, ora mostrando camadas amalgamadas, ora preservando camadas de fácies de heterolito, intercalada em geral a depósitos com domínio de SCS. Estruturas do tipo HCS são normalmente interpretadas como resultantes da ação de ondas de tempestades, representando, assim, depósitos gerados abaixo do nível de base das ondas normais (*e.g.* Frey, 1990; Lavina, 1991; Walker & Plint, 1992; Reading & Collinson, 1996; Howell & Flint, 2003; Cheel, 2005). À medida que tais ondas perdem competência, geram as estruturas do tipo SCS, que sugerem,

assim, deposição em zona mais distante daquela de acúmulo principal das formas de leito geradas pela ação das tempestades (*e.g.* Walker & Plint, 1992; Reading & Collinson, 1996; Cheel, 2005).

As fácies de lamito, de heterolito e de arenito com HCS e SCS parecem estar geneticamente relacionadas. O padrão de estruturas sedimentares das duas últimas sugere dominância de processos marinhos e deposição em contexto de *shoreface* inferior/transição ao *offshore*. As fácies de arenito fino com laminação cruzada cavalgante e de arenito com estratificação cruzada acanalada, por sua vez, parecem estar relacionadas a eventos deposicionais prográdantes, condicionados pelo aporte de sedimentos trazidos por correntes unidirecionais, que interrompem, de certa forma, a sedimentação marinha.

Segundo Schneider *et al.* (1974), é comum em depósitos da Formação Teresina a presença de argilitos intercalados a siltitos, sendo a laminação *flaser* a feição mais característica da formação. Outros componentes de caráter recorrente são as fendas de ressecamento nas rochas heterolíticas e as camadas de calcário oolítico (*e.g.* Schneider *et al.*, 1974; Rohn, 1989; Lavina, 1991). Contudo, estes componentes não são observados na sucessão exposta no Cerro Caveiras. Tal qual neste estudo, as fácies de pelitos e de arenitos com estratificação cruzada *hummocky* também foram reconhecidas por Lavina (1991) e Klein *et al.* (1999) nos depósitos da Formação Teresina no RS.

5. REVISÃO DA ICNOFAUNA DA FORMAÇÃO TERESINA NO CERRO CAVEIRAS (DOM PEDRITO, RS)

JOÃO HENRIQUE DOBLER LIMA & RENATA GUIMARÃES NETTO

UNISINOS, Programa de Pós-graduação em Geologia, Av. Unisinos, 950, 93022-000 São Leopoldo RS, Brasil. jhdl_bio@hotmail.com, nettorg@unisinos.br

RESUMO – A icnofauna dos depósitos da Formação Teresina aflorantes no Cerro Caveiras (Dom Pedrito, RS) é aqui revisada. Foram registrados os icnotáxons *Bergaueria* isp., *Cochlichnus anguineus*, *Cruziana problematica*, *Diplocraterion* isp., *Diplopodichnus biformis*, *Helminthopsis* isp., *Lockeia siliquaria*, *Multina minima*, *Palaeophycus striatus*, *Palaeophycus tubularis*, *Planolites beverleyensis*, *Planolites montanus*, *Scolicia* cf. *plana*, *Teichichnus* isp. e *Thalassinoides* isp. *Isopodichnus problematicus*, *Helminthopsis tenuis* e *Unarites* isp., previamente descritos nestes depósitos, são aqui identificados como *Cruziana problematica*, *Scolicia* cf. *plana* e *Multina minima*, respectivamente. Escavações simples, rasas, horizontalizadas, com domínio de estruturas de alimentação caracterizam a icnofauna estudada. Estruturas de repouso, moradia, e deslocamento, além de diminutas pistas de pastagem indeterminadas ocorrem subordinadas. A icnodiversidade e o índice de bioturbação são baixos, em geral, e *Planolites montanus* é o icnotáxon mais comum. As características gerais da icnofauna sugerem uma fauna bentônica estressada por flutuações de salinidade e permitem reconhecer uma assembleia de Icnofácies *Cruziana* empobrecida. A ausência de escavações verticais e a ocorrência comum de colonizações monoespecíficas de *Planolites* indica estresse acentuado, decorrente do estabelecimento de condições de água doce. Estudos futuros focados no reconhecimento e na análise das assinaturas icnológicas da Formação Teresina no Cerro Caveiras permitirão um melhor entendimento paleoecológico e paleoambiental da sucessão.

Palavras-chave: icnologia, Formação Teresina, Cerro Caveiras, Permiano, bacia do Paraná.

ABSTRACT – REVISION OF THE ICHNOFAUNA OF THE TERESINA FORMATION (PERMIAN, PARANÁ BASIN) FROM CERRO CAVEIRAS (DOM PEDRITO, RIO GRANDE DO SUL STATE, SOUTH OF BRAZIL). The ichnofauna from Teresina Formation at Cerro Caveiras (Dom Pedrito, Rio Grande do Sul State, south Brazil) is revised

in this paper. *Bergaueria* isp., *Cochlichnus anguineus*, *Cruziana problematica*, *Diplocraterion* isp., *Diplopodichnus biformis*, *Helminthopsis* isp., *Lockeia siliquaria*, *Multina minima*, *Palaeophycus striatus*, *Palaeophycus tubularis*, *Planolites beverleyensis*, *Planolites montanus*, *Scolicia* cf. *plana*, *Teichichnus* isp. and *Thalassinoides* isp. were registered. The *Isopodichnus problematicus*, *Helminthopsis tenuis* and *Unarites* isp., previously described in these deposits are now described as *Cruziana problematica*, *Scolicia* cf. *plana* e *Multina minima*, respectively. The ichnofauna is composed chiefly by horizontal, simple shallow burrows, with dominance of feeding structures. Resting, dwelling and crawling structures also occur, as well as undetermined tiny grazing trails, but are subordinated. Ichnodiversity and intensity of bioturbation are usually low, and *Planolites montanus* is the commonest ichnotaxon. The main characteristics of the ichnofauna suggest an original benthic fauna stressed by salinity fluctuations and allowing recognize a depauperate *Cruziana* Ichnofacies. The absence of vertical burrows and the common occurrences of monospecific colonizations of *Planolites* indicate extreme stress events, probably due to the establishment of freshwater conditions. Further studies focused on the ichnological signatures of these deposits will provide more detailed information to accurate the current paleoecological and paleoenvironmental interpretations for the Teresina Formation deposits.

Key word: ichnology, Teresina Formation, Cerro Caveiras, Permian, Paraná Basin, south of Brazil.

INTRODUÇÃO

Estudos enfocando a icnofauna dos depósitos do Permiano Superior da bacia do Paraná no Rio Grande do Sul são escassos e têm sua melhor expressão nos trabalhos efetuados por Netto (1988, 1992), focados na caracterização e análise da icnofauna das localidades de Cerro Caveiras (Dom Pedrito) e Tiarajú (São Gabriel), no oeste do Rio Grande do Sul. A assembleia icnofossilífera foi dividida em duas icnocenoses, uma restrita à região de Tiarajú (icnocenose A), contendo os icnogêneros *Planolites*, *Teichichnus* e *Thalassinoides*, e outra registrada no Cerro Caveiras (icnocenose B), contendo *Cochlichnus*, *Flabellichnus*, *Helminthopsis*, *Isopodichnus*, *Planolites*, *Thalassinoides* e *Unarites*. Esta icnofauna representaria uma assembleia de Ichnofácies *Cruziana* com baixa icnodiversidade, gerada em ambiente marinho muito raso, em zona de planícies de marés (Netto, 1992).

Desde então, nenhum outro estudo abordou a icnofauna dessas duas localidades. Contudo, a melhor definição de critérios para a descrição morfológica de icnofósseis a partir do estabelecimento das icnotaxobases (Bromley, 1990) abriu espaço para uma série de estudos revisivos, impactando na classificação de muitos icnotáxons. Além disso, o incremento da pesquisa sobre a icnologia de depósitos de água doce (*e.g.* Buatois & Mángano, 1993, 1995, 2004, 2007; Bromley, 1996; Gibert *et al.*, 2000; Buatois *et al.*, 2002) e de água salobra (*e.g.* Pemberton & Wightman, 1992; Bann & Fielding, 2004; Buatois *et al.*, 2005; MacEachern *et al.*, 2005, 2007) aportou novas informações sobre a distribuição das icnofaunas em contextos marinhos rasos e marginais-marinhos, estressados por flutuações de salinidade, como estuários e deltas ou por taxas reduzidas de oxigenação (*e.g.* Bromley, 1996; Netto, 2001; Buatois *et al.*, 2002, 2005; Martin, 2004; MacEachern *et al.*, 2007; Savrda, 2007).

Netto (1992) considerou que as assembleias icnofossilíferas de Cerro Caveiras e de Tiarajú teriam se desenvolvido, possivelmente, em um “ambiente misto”, a julgar pela presença de depósitos continentais sobrepostos à sucessão analisada. Fica claro que a autora já visualizava, na época, ruídos na interpretação da icnofauna desses depósitos. Passados 20 anos, é certo que os novos parâmetros disponíveis para a análise paleoecológica e paleomambial desses depósitos têm potencial para auxiliar no melhor entendimento do significado dessa icnofauna. Nesse sentido, este trabalho visa revisar a icnofauna do afloramento Cerro Caveiras, como contribuição para futuros estudos de caráter paleoecológico e paleoambiental da Formação Teresina.

MATERIAL E MÉTODOS

A revisão icnotaxonômica que é base desse estudo teve por base os espécimes de icnofósseis do Cerro Caveiras (Dom Pedrito, RS, Figura 1), originalmente descritos por Netto (1988, 1992) e depositados na coleção de icnofósseis do Laboratório de História da Vida e da Terra (LaViGea) da UNISINOS, sob os números EO-009, U-1575/I-008, U-1576/I-009, U-1640/I-033, U-1641/I-035, U-1643/I-036, U-1651/I-039 a U-1659/I-047, U-1662/I-050 a U-1679/I-067, U-1682/I-070 a U-1690/I-078, U-1692/I-080, U-1693/I-081, U-1695/I-083 a U-1698/I-086, U-1700/I-088 a U-1703/I-091, U-1705/I-093, U-1707/I-095 a U-1712/I-101, U-1714/I-103 a U-1719/I-108, U-1721/I-110 e U-1723/I-112 a U-1728/I-117, além de espécimes observados em campo.

As amostras U-1573/I-006 e EO-70, originalmente descritas por Netto (1988, 1992) e contendo espécimes identificados como pertencentes aos icnogêneros *Flabellichnus*, *Helminthopsis* e *Isopodichnus*, não foram localizadas. Novas amostras foram coletadas ao longo desse estudo, sendo catalogadas no LaViGea sob os números ULVG-7802 a ULVG-7806.

GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

O afloramento Cerro Caveiras, que está situado cerca de 14 km do principal acesso ao município de Dom Pedrito, Estado do Rio Grande do Sul, em sentido noroeste (coordenadas UTM 0706867E/6580577N a 0707057E/6581133N, faixa 21J, Figura 1). Destaca-se pela presença, no centro da área, de um singular morro testemunho de forma cônica, com diâmetro de aproximadamente 15 m e 9,5 m de altura (Figura 2), cujas rochas têm idade permiana e caracterizam depósitos da Formação Teresina (Permiano, bacia do Paraná).

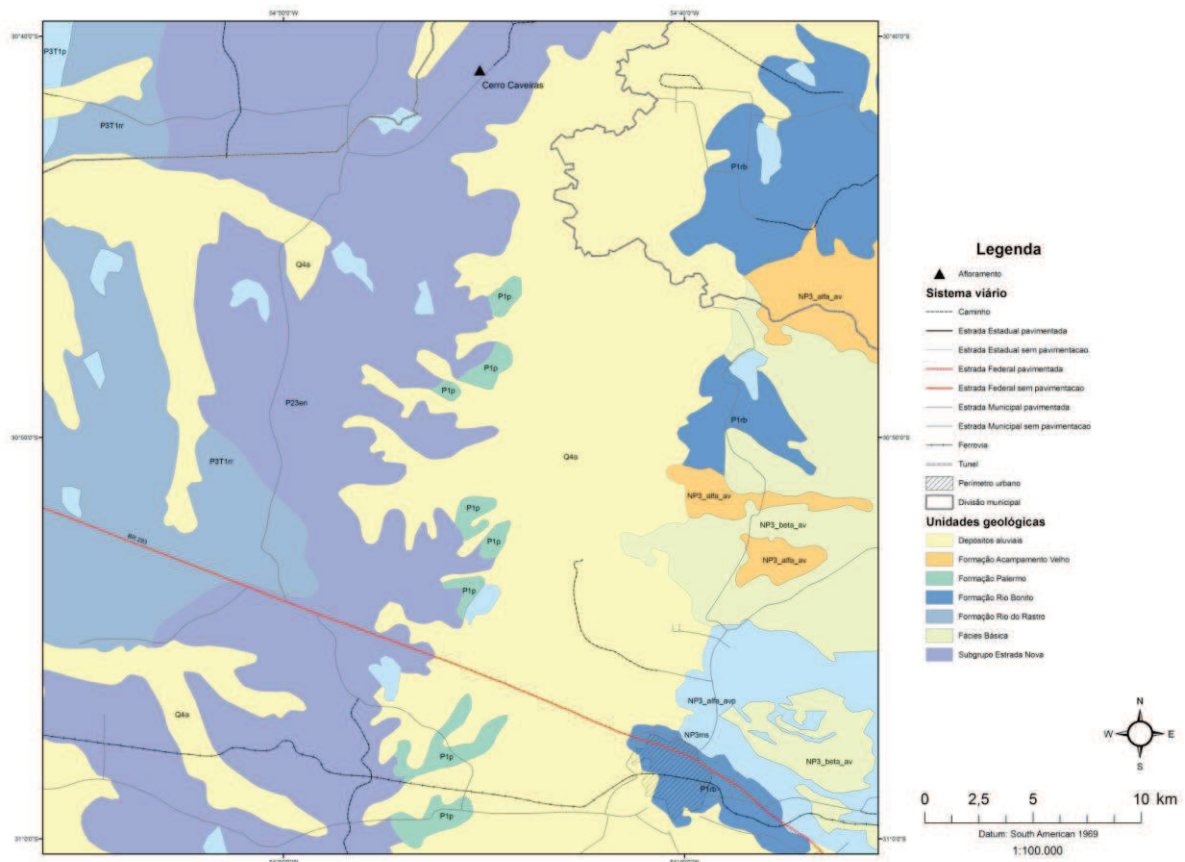


Figura 1. Mapa geológico com localização da área de estudo.

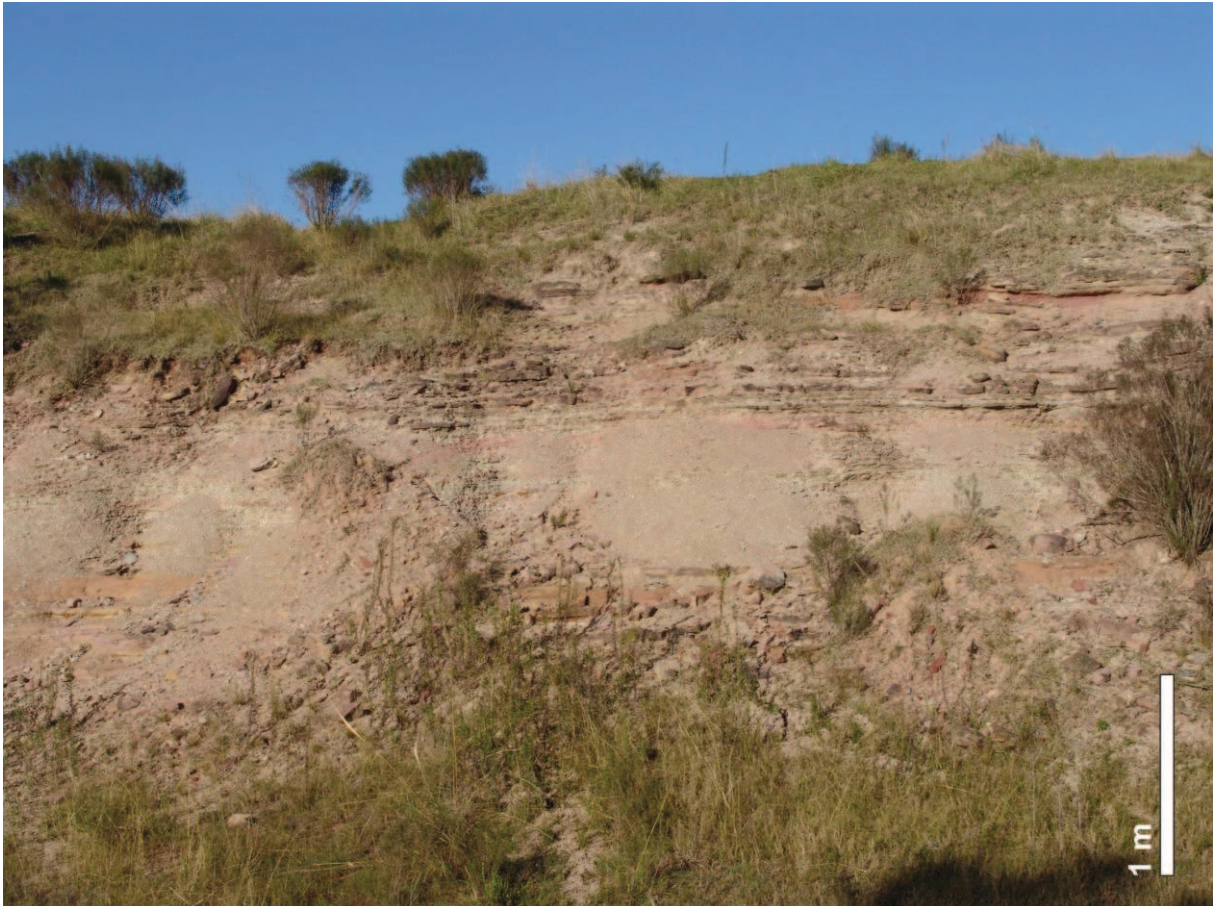


Figura 2. Vista geral do afloramento Cerro Caveiras (Dom Pedrito, RS).

A Formação Teresina reúne depósitos desenvolvidos sob uma tendência regressiva em grande escala ao final do Paleozóico da bacia do Paraná, representando sedimentação em ambiente marinho raso (Figueiredo Filho, 1972; Schneider *et al.*, 1974; Gama Jr., 1979; Rohn, 1989; Lavina, 1991; Milani *et al.*, 2007).

Cinco fácies sedimentares foram reconhecidas na sucessão estudada: fácies de lamito, fácies de heterolito, fácies de arenitos com laminação cruzada cavalgante, fácies de arenito com estratificação cruzada acanalada e fácies de arenito com estratificação cruzada *hummocky* (HCS) e *swalley* (SCS). Essas fácies revelam o domínio de ação das ondas sobre depósitos originados por correntes e permitem inferir deposição em ambiente marinho raso, em zona de *shoreface* inferior-transição ao *offshore*, possivelmente afetada pela ação de correntes vindas do continente, sugerindo a chegada de deltas (Lima, 2010). Formam ciclos grano e estratocrescentes que se empilham formando um padrão progradante na primeira metade da sucessão, dando lugar a um padrão retrogradante/agradante, para o topo (Figura 3).

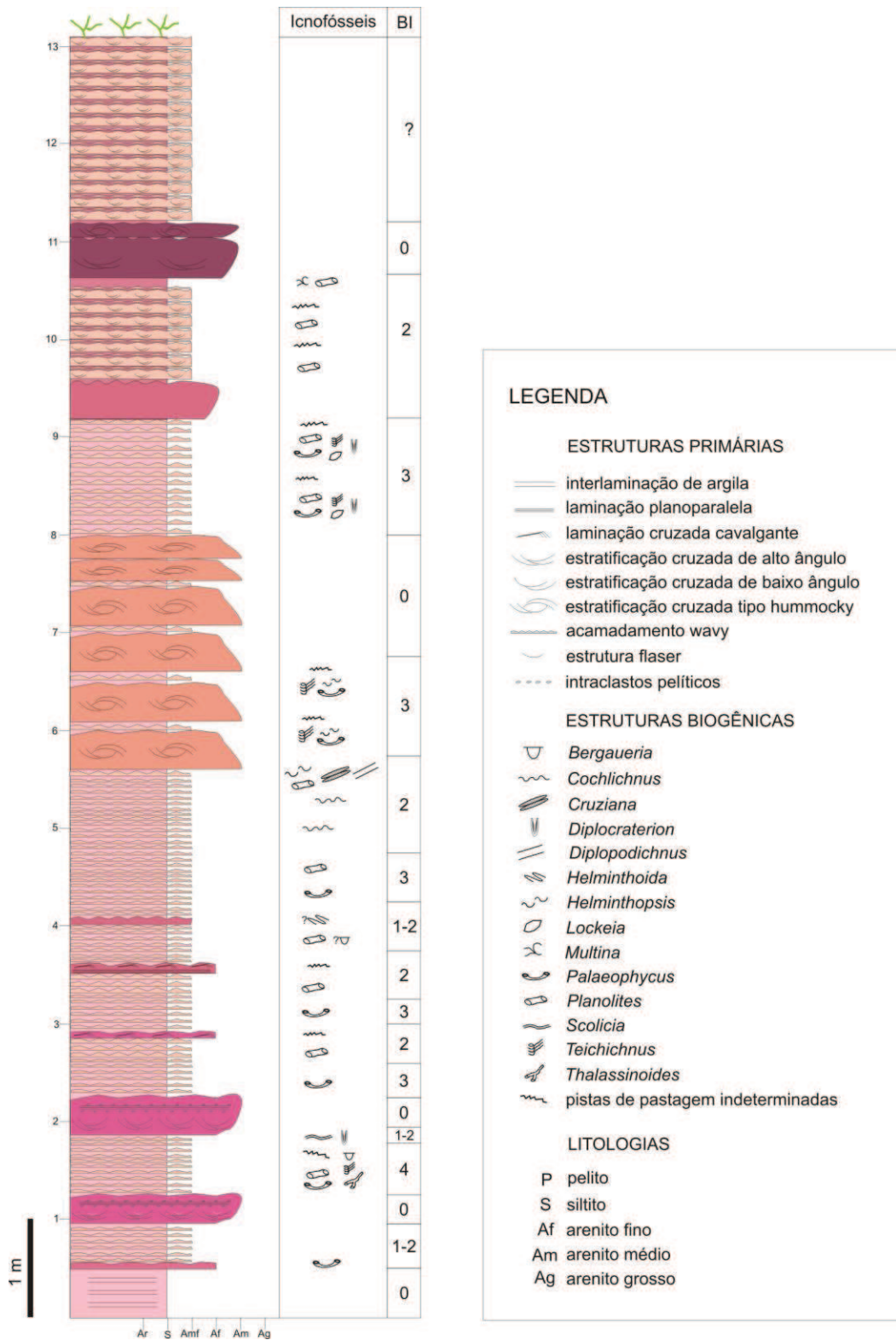


Figura 3. Perfil esquemático do empilhamento da sucessão sedimentar da Formação Teresina exposta no Cerro Caveiras.

ICNOTAXONOMIA

Ichogênero *Bergaueria* Prantl, 1945

Bergaueria isp.

Figura 4A

Descrição. Escavação vertical, com base elíptica e depressão central na terminação basal. Bordos lisos, com lineação muito discreta. Ornamentação ausente nos bordos e na terminação basal. O preenchimento da escavação é semelhante ao da rocha hospedeira. Diâmetro menor da base 17,3 mm, diâmetro maior 19,25 mm; altura máxima preservada 4,75 mm. Preservação hipicnia em semirrelevo positivo.

Material analisado. Um espécime, na amostra U-1641/I-035, e outro observado em campo.

Discussão. Segundo Pemberton *et al.* (1988), *Bergaueria* se diferencia dos ichogêneros *Conichnus* e *Dolopichnus* por sua geometria geral e de *Conostichnus* pela ausência de um disco apical e ornamentação nos bordos da escavação. Segundo estes autores, a espessura da lineação dos bordos e a presença e a morfologia da ornamentação na terminação basal da escavação são os critérios diagnósticos para a classificação dos registros em uma das ichoespécies de *Bergaueria*. O espécime coletado no Cerro Caveiras está, aparentemente, incompleto ou sofreu forte ação do intemperismo, a julgar pelo prejuízo evidente na preservação de sua terminação basal. Desta forma, não restaram caracteres diagnósticos que permitissem a inclusão segura desta estrutura em uma ichoespécie já conhecida.

Alpert (1973) apontou que *Bergaueria* seria o registro da moradia permanente ou temporária de antozoários (anêmonas), cuja morte e decomposição eram sucedidas pelo preenchimento passivo da escavação por areia, formando protuberâncias na base de camadas arenosas. De fato, *Bergaueria* é interpretado por outros autores como uma estrutura produzida para moradia ou reclusão temporária de anêmonas (*e.g.* Häntzschel, 1975; Pemberton *et al.*, 1988; Ekdale & Lamond, 2003). Há registros deste ichogênero em depósitos cuja idade varia desde o Pré-Cambriano até o Pleistoceno e, embora seja componente comum em icnocenoses marinhas, também é registrado em sucessões marginais marinhas, testemunhando a resistência de seu produtor a oscilações na salinidade da água (*e.g.* Bjerstedt, 1987; Dam, 1990; Buatois & Mángano, 1993; Buatois *et al.*, 2009; Carmona *et al.*, 2009).

Ichogênero *Cochlichnus* Hitchcock, 1858

Cochlichnus anguineus Hitchcock, 1858

Figuras 4B-C

Descrição. Escavações horizontais rasas, sem ramificações, cuja trajetória é composta por uma ou mais curvas regulares em forma de sino. Bordos sem lineação e preenchimento ativo compactado. As dimensões do comprimento e da amplitude de onda variam entre os registros coletados, mas não variam entre as curvas de um mesmo registro. Nos pelitos, as escavações ocorrem isoladas e sua preservação é hipicnia em semirrelevo positivo. Quando registradas em arenitos, estão dispostas em grupos, nos quais aparecem sobreposições, e preservadas em epicnia, semirrelevo positivo.

Material analisado. Quatro espécimes, nas amostras U-1652/I-040 e ULVG-7806.

Discussão. Para a descrição e identificação de *Cochlichmus*, foi utilizada a mesma abordagem de Balistieri *et al.* (2002), segundo a qual tanto escavações como trilhas sinusoidais podem ser incluídas neste icnogênero, quando não for possível estabelecer a distinção segura entre elas. No topo das camadas arenosas do Cerro Caveiras, as estruturas biogênicas preservadas sugerem escavações, dada sua preservação em semirrelevo positivo. Porém, quando presentes na base de camadas pelíticas, a toponomia das amostras não permite estabelecer com clareza se o traço fóssil é uma escavação ou o molde de uma trilha produzida na camada sotoposta. De qualquer forma, as estruturas descritas apresentam as feições típicas de *C. anguineus*, na medida em que a trajetória é marcadamente sinusoidal, mas não se observa anulações ou marcas laterais, o que diferencia esta icnoespécie de *C. annulatus* e *C. antarcticus* (Buatois *et al.*, 1997).

Os produtores frequentemente sugeridos para *Cochlichmus* são nematóides, anelídeos, ciclostomados e larvas de dípteros (Chamberlain, 1975; Buatois & Mángano, 1993; Gluszek, 1995; Gibert *et al.*, 2000; Uchman *et al.*, 2009). Entretanto, dípteros são produtores pouco prováveis para estruturas presente em depósitos permianos, uma vez que não há registros fósseis deste grupo datados antes do Triássico Superior (Mángano *et al.*, 1996). Segundo Gluszek (1995), dependendo da variabilidade em tamanho dos espécimes, em uma mesma localidade, *Cochlichmus* pode ter se originado de diferentes produtores ou de um único produtor passando por diferentes estágios de desenvolvimento.

Com relação ao grupo etológico, *Cochlichmus* já foi apontado como estrutura gerada em atividade de alimentação, locomoção e, principalmente, pastagem (Eagar, 1985; Dam, 1990; Netto, 1992; Buatois & Mángano, 1993; Buatois *et al.*, 1997; Sarkar *et al.*, 2009). *Cochlichmus* foi registrado em ambientes marinhos, marginais-marinhos e continentais subaquáticos, incluindo depósitos lacustres (*e.g.* Buatois & Mángano, 1993, 1995; Gibert *et*

al., 2000; Netto *et al.*, 2009; Uchman *et al.*, 2009), deltaicos (Eagar, 1985; Melchor *et al.*, 2003) e fluviais, conforme compilado por Buatois & Mángano (2007).

 Icnogênero *Cruziana* d'Orbigny, 1842
 Cruziana problematica Schindewolf 1921

 Figura 4C

- 1988 *Isopodichnus problematicus* Netto, p. 40, fig. 15,16
1992 *Isopodichnus problematicus* Netto, p. 71, fig. 5C

Descrição. Estrutura biogênica intraestratal rasa, bilobada, formada por duas cristas paralelas a subparalelas, assimétricas, separadas por um sulco mediano. As cristas são ornamentadas por delicadas estrias dispostas obliquamente em relação ao eixo mediano. A trajetória do traço é levemente curva. A largura da estrutura completa é de 3,75 mm e a do sulco mediano é de 1,18 mm. O comprimento da estrutura é de 3,15 cm. Preservação hipicnia em semirrelevo positivo.

Material analisado. Um espécime, na amostra ULVG-7806.

Discussão. Pistas intraestratais superficiais a relativamente profundas, composta por dois sulcos contíguos, paralelos, formando dois lobos ornamentados por estrias dispostas de modo oblíquo passaram a ser características exclusivas do icnogênero *Cruziana* após a revisão icnotaxonômica efetuada por Keighley & Pickerill (1996). Segundo estes autores, as variações no padrão das estrias e na profundidade dos lobos são os principais critérios para diferenciar as icnoespécies de *Cruziana*. Embora a granulometria da amostra não favoreça a visualização dos detalhes da ornamentação da estrutura, a análise da morfologia do espécime coletado no Cerro Caveiras permite sua inclusão em *C. problematica*, por mostrar menor tamanho e ornamentação muito mais discreta se comparado a outras icnoespécies de *Cruziana* (*e.g.* Keighley & Pickerill, 1996; Schlirf *et al.*, 2001; Balistieri *et al.*, 2002; Lermen, 2006).

As pistas intraestratais rasas, às vezes relativamente profundas que caracterizam o icnogênero *Cruziana* são, em geral, interpretadas como estruturas de locomoção de artrópodes ou de locomoção combinada à alimentação e *C. problematica* é interpretada como resultante do deslocamento de crustáceos e de miriápodes (*e.g.* Bromley & Asgaard, 1979; Keighley & Pickerill, 1996; Schlirf *et al.*, 2001). Em rochas do Paleozóico Superior, *C. problematica* tem sido registrada, principalmente, em depósitos não-marinhos (Bromley & Asgaard, 1979; Gradzinski & Uchman, 1994; Schlirf *et al.*, 2001; Balistieri *et al.*, 2002; Lermen, 2006).

Ichonogênero *Diplocraterion* Torell, 1870

Diplocraterion isp.

Figuras 4A, D, 5B

Descrição. Escavações verticais em forma de “U”, com hastes cilíndricas separadas por *spreite*. Bordos discretamente lineados, sem ornamentação. Escavações com preenchimento de litologia semelhante à da rocha hospedeira. O diâmetro das hastes varia de 3,50 mm a 5,07 mm e a distância entre as duas hastes de uma mesma estrutura varia de 2,15 mm a 5,35 mm. Preservação hipicnia em semirrelevo positivo.

Material analisado. Cinco espécimes, nas amostras U-1641/I-035, U-1663/I-051, U-1665/I-053 e U-1676/I-064.

Discussão. As amostras contendo *Diplocraterion* coletadas no Cerro Caveiras permitem acessar apenas a morfologia da estrutura visível em planta, o que impossibilitou sua identificação em nível icnogênérico. Pelo mesmo motivo, é inviável a caracterização dos *spreite* dos espécimes estudados como retrusivos ou protrusivos, deixando dúvida a respeito da atividade a partir da qual o produtor teria gerado esses registros. Ainda, a ausência de visualização dos componentes verticais da estrutura lhe confere uma preservação bastante semelhante à de formas interpretadas como *Arthraria* (Fillion & Pickerill, 1984).

Em geral, *Diplocraterion* é associado à moradia permanente de suspensívoros ou detritívoros podendo, ainda, representar atividade de equilíbrio da escavação, como resposta destes produtores a altas taxas de sedimentação e/ou erosão (e.g. Turner *et al.*, 1981; Bromley, 1996; Savrda & Nanson, 2003; Seilacher, 2007). Embora registrado com maior frequência em depósitos que remetem ao ambiente marinho, *Diplocraterion* está presente em icnofaunas de água salobra geradas durante todo o Fanerozóico, conforme sintetizado por Buatois *et al.* (2005). Recentemente, esta estrutura tem sido registrada em depósitos deltaicos dominados pela maré (e.g. McIlroy, 2004, 2007; Chakraborty & Bhattacharya, 2005). Da mesma forma, outros estudos sugerem que os produtores de *Diplocraterion* possuíam razoável tolerância a ambientes estressantes em função da variação de energia hidrodinâmica, oxigenação e salinidade (e.g. Ager & Wallace, 1970; Leszczynski *et al.*, 1996; Goldring *et al.*, 2005). Os exemplares deste icnogênero coletados no Cerro Caveiras estão preservados na base de camadas de arenito fino, associados a *Bergaueria*, *Planolites*, *Palaeophycus* e *Lockeia*.

Ichonogênero *Diplopodichnus* Braddy 1947

Diplopodichnus biformis Braddy 1947

Figura 4C

Descrição. Estruturas biogênicas formadas por duas cristas contínuas rasas e paralelas, separados por um sulco mediano, de largura maior que a largura das cristas. Trajetória retilínea a ligeiramente curva. Não se observa ornamentação. A largura total das pistas varia de 3,10 a 4,21 mm e a largura média dos sulcos medianos varia entre 1,70 mm e 2 mm. As pistas possuem comprimento máximo de 6,2 cm, em um exemplar que cobre toda a extensão da menor lateral da amostra. Preservação hipicnia, em semirrelevo positivo.

Material analisado. Dois espécimes, na amostra ULVG-7806.

Discussão. De acordo com as diagnoses propostas por Keighley & Pickerill (1996) e Buatois *et al.* (1998), cristas paralelas retilíneas a gentilmente curvas, horizontais, não ramificadas e separadas por uma distância igual ou superior à largura de cada crista (ou de cada sulco, nos exemplares preservados em epirrelevo côncavo) são características diagnósticas do icnogênero *Diplopodichnus*, sendo *D. biformis* sua icnoespécie-tipo.

Segundo Keighley & Pickerill (1996), *Diplopodichnus* é uma forma preservacional intermediária dos icnogêneros *Cruziana* e *Diplichnites*, refletindo o posicionamento do produtor em um nível do substrato que fica entre os níveis nos quais *Cruziana* e *Diplichnites* seriam produzidos. A sugestão de que *Diplopodichnus* e *Cruziana* resultariam de comportamentos distintos de um mesmo produtor encontra respaldo no Cerro Caveiras, onde estes dois icnogêneros ocorrem associados, em um nível que também contém marcas de enrugamento. Essas marcas são estruturas sedimentares primárias induzidas pela ação de esteiras microbianas junto ao substrato subaquático ou úmido (Noffke *et al.*, 2001), favorecendo a preservação de subimpressões de organismos de hábito terrestre e servindo como fonte de alimento para detritívoros e pastadores de algas.

Contudo, *D. biformis* tem sua origem associada ao deslocamento de diplópodos ou de animais aquáticos semelhantes a miriápodes, em substratos empapados (*e.g.* Buatois *et al.*, 1998; Balistieri *et al.*, 2002, 2003; Lermen, 2006). *D. biformis* tem sido registrado em depósitos gerados em margens de lagos rasos e de supra-maré, depositados em contexto glacial, e em sedimentitos marginais-marinhos e lacustres (Aceñolaza & Buatois, 1993; Buatois *et al.*, 1998; Nogueira & Netto, 2001a, 2001b; Balistieri *et al.*, 2002, 2003; Lermen, 2006; Netto *et al.*, 2009).

Ícnogênero *Helminthopsis* Heer, 1887

Helminthopsis isp.

Figuras 4B-E

Descrição. Escavações horizontais com seção cilíndrica, cuja trajetória forma meandros irregulares. A amplitude dos meandros é variável entre espécimes e ao longo de um mesmo espécime. É comum a ocorrência de fragmentos de meandros, em formato de “U”. Não se observa ramificações ou sobreposições. Bordos lisos, sem lineação. O preenchimento da escavação é semelhante ao da rocha hospedeira. Preservação epicnia ou hipicnia, em semirrelevo positivo.

Material analisado. Três espécimes, nas amostras U-1652/I-040 e ULVG-7802 e espécimes observados em campo.

Discussão. De acordo com a diagnose de Wetzel & Bromley (1996), escavações simples, não ramificadas, alongadas, cilíndricas e com meandros irregulares abertos caracterizam o icnogênero *Helminthopsis*, e a diferenciação de suas icnoespécies deve basear-se no padrão geométrico do traço, mas a ornamentação pode também ser um critério diagnóstico (Hann & Pickerill, 1995). Wetzel & Bromley (1996), após revisão do icnogênero, mantiveram como válidas as icnoespécies *H. hieroglyphica*, *H. abeli*, e *H. tenuis*, descartando a sugestão de Hann & Pickerill (1995) de incluir *H. tenuis* como sinônimo de *H. abeli*. Alguns espécimes observados no Cerro Caveiras se enquadram na diagnose de Uchman (1998) para *H. abeli*, por seu formato de ferradura. Porém, os demais espécimes apresentam meandros de amplitude muito mais alta e nenhuma das formas observadas está preservada com qualidade suficiente para uma identificação segura, em nível de icnoespécie.

Helminthopsis é um icnotáxon *facies crossing*, interpretado como escavações de alimentação ou pastagem, geradas por um organismo endobionte vermiforme de hábito detritívoro, provavelmente um poliqueta (e.g. Dam, 1990; Hann & Pickerill, 1995; Uchman, 1998). Mángano *et al.* (1996) apontaram larvas de insetos como produtoras de *Helminthopsis* em depósitos permianos da Argentina. Este icnogênero tem sido registrado em depósitos de idade cambriana a holocênica, gerados em contexto marinho (e.g. Dam, 1990; Uchman, 1998; Uchman *et al.*, 2005b; Sarkar *et al.*, 2009), deltaico (e.g. Bann & Fielding, 2004; Gani *et al.*, 2007) e não marinho (e.g. Buatois & Mángano, 1995, 2007; Mángano *et al.*, 1996; Buatois *et al.*, 1997; Krapovickas *et al.*, 2009).

ICNOGÊNERO *Lockeia* James, 1879

Lockeia siliquaria James, 1879

Figuras 4F, 5B, H

Descrição. Protuberância alongada, em forma de amêndoa, com bordos lisos. A maioria dos espécimes possui uma crista mediana, evidenciando a simetria bilateral da estrutura. Preenchimento de litologia semelhante à da rocha hospedeira. Todos os espécimes ocorrem de maneira isolada. A largura média das estruturas é de 3,71 mm, variando de 2,21 mm a 6,11 mm. O comprimento médio é de 8,97 mm, variando de 4,89 mm a 15,24 mm. Preservação hipicnia, em semirrelevo positivo.

Material analisado. 21 espécimes, nas amostras EO-009, U-1665/I-053, U-1675/I-063, U-1678/I-066, U-1683/I-071, U-1692/I-080, U-1696/I-084, U-1705/I-093, U-1712/I-101, U-1715/I-104 e U-1728/I-117.

Discussão. A morfologia dos espécimes descritos se encaixa perfeitamente na diagnose da icnoespécie *Lockeia siliquaria* proposta por Schlirf *et al.* (2001), além de não exibir a ornamentação característica de *L. ornata* e o arranjo linear de *L. cunctator* e *L. serialis*. Registros de dimensões reduzidas de *Lockeia* foram associados a conchostráceos e ostracodes (Bromley & Asgaard, 1979; Maples & Suttner, 1990), porém, é recorrente na literatura a interpretação desta estrutura como resultado de reclusão temporária de moluscos bivalves (*e.g.* Seilacher & Seilacher, 1994; Bromley, 1996; Mángano *et al.*, 1998; Ekdale & Bromley, 2001; Seilacher, 2007). Em alguns dos espécimes estudados por Mángano *et al.* (1998), *L. siliquaria* está preservada em associação com hastes verticais a inclinadas, o que sugere domicílios estáveis em lugar de estruturas de descanso, sendo a posição de vida e a mobilidade vertical do produtor indícios de que seu hábito alimentar seria suspensívoro/filtrador e que, portanto, este animal seria apto a escavar e habitar *tiers* rasos e profundos no substrato. Estes autores apontam, ainda, que *L. siliquaria* poderia representar uma estrutura de fuga, motivada por mudanças nas condições ambientais. Ekdale & Bromley (2001) reportaram a ocorrência de *L. siliquaria*, *Protovirgularia dichotoma* e *Lophoctenium* isp. compondo uma única estrutura em depósitos pensilvanianos dos U.S.A. e interpretaram cada icnotáxon como reflexo de um padrão comportamental diferente (repouso, deslocamento e alimentação, respectivamente) de um bivalve. A assembleia dominada por *L. siliquaria*, descrita por Gibert & Ekdale (2002, Jurássico médio, U.S.A.), é composta por estruturas que evidenciam penetração extremamente rasa (da ordem de milímetros) no substrato, característica que os autores atribuíram à disoxia do substrato.

Os espécimes coletados no Cerro Caveiras não estão associados a trilhas de deslocamento, tampouco a hastes verticais, e estão presentes na base de camadas de arenito

com espessuras da ordem de dezenas de centímetros, o que dá suporte à ideia de repouso, sem evidências de fuga ou da estratégia trófica do produtor. Os registros de *Lockeia* se limitam a ambientes permanentemente subaquáticos, dotados de variadas taxas de salinidade, sendo mais comum sua presença em depósitos marinhos, deltaicos e estuarinos (e.g. Balistieri *et al.*, 2002; Uchman *et al.*, 2004; Buatois *et al.*, 2005, 2009; Goldring *et al.*, 2005; Coates & MacEachern, 2007).

Ichnogênero *Multina* Orłowski, 1968

Multina minima Uchman, 2001

Figura 5A

1988 *Unarites* sp. Netto, p. 44-45, fig. 28, 29

1992 *Unarites* sp. Netto, p. 73-74, fig. 5I, 5J

Descrição. Escavações predominantemente horizontais, levemente curvas, de seção circular e trajetória formando meandros abertos. Sobreposições são frequentes e ramificações e constrições, raras. Possuem bordos delimitados e preenchimento ativo compactado. Ocorrem agrupadas nas porções argilosas das amostras, compondo um padrão entrelaçado de densidade variada, e isoladas nas porções arenosas. O diâmetro da seção varia de 0,58 mm a 3,33 mm. Preservação hipicnia em semirrelevo positivo.

Material analisado. 234 espécimes, nas amostras U-1575/I-008, U-1576/I-009, U-1643/I-036, U-1654/I-042, U-1655/I-043, U-1656/I-044 e ULVG-7805 e espécimes observados em campo.

Discussão. Os exemplares analisados foram classificados por Netto (1988, 1992) como pertencentes ao ichnogênero *Unarites* Macsotay (1967). Contudo, na diagnose original desse ichnogênero e de sua icnoespécie-tipo (*U. suleki*), sobreposições – uma característica marcante nos espécimes provenientes do Cerro Caveiras – não são observadas. *U. suleki* foi assumido como sinônimo de *Megagraption submontanum* por Uchman (1998), que também sugeriu que *Multina magna* (icnoespécie-tipo do ichnogênero *Multina*) fosse similar ou talvez igual a *Megagraption*. Essa similaridade também foi observada por outros autores (Orłowski & Zilinska, 1996; Buatois *et al.*, 2009), mas nenhuma proposição de sinonímia entre *M. magna* e *M. submontanum* foi feita. O ichnogênero *Multina* reúne escavações horizontais de pequeno porte que formam redes irregulares com preenchimento passivo, podendo exibir apêndices e sobreposições dentro da mesma rede. *Multina minima* diferencia-se de *M. magna* por

apresentar escavações de menor diâmetro, nunca ultrapassando 5 mm, e padrão de rede muito irregular, formando ondulações alongadas e sobreposições, cuja intensidade pode mascarar completamente a estrutura reticular original (Uchman, 2001).

Multina é interpretado como uma escavação produzida por organismos vermiformes objetivando alimentação (Buatois *et al.*, 2009), embora o intenso retrabalhamento do sedimento em *M. minima* sugira atividade de pastagem de detritívoros, poucos centímetros abaixo do substrato (Uchman, 2001; Rodríguez-Tovar *et al.*, 2010). De fato, o posicionamento estratinômico dos exemplares aqui analisados sugere que a atividade dos produtores de *M. minima* se concentrava na interface entre as camadas mais arenosas e as camadas pelíticas a elas sobrepostas. *M. minima* tem sido descrito como estruturas pré e pós-deposicionais em depósitos turbidíticos arenosos finos a muito finos marinhos, com ocorrência desde o Cambriano Médio até o Eoceno (Uchman, 2001; Rodríguez-Tovar *et al.*, 2010). No Cerro Caveiras, todos os exemplares identificados como *M. minima* ocorrem em depósitos arenosos finos a muito finos, intercalados a depósitos pelíticos.

Ícnogênero *Palaeophycus* Hall, 1847

Palaeophycus tubularis Hall, 1847

Figura 5B

Descrição. Escavações retilíneas a levemente curvas, de seção cilíndrica a subcilíndrica, paralelas ou sutilmente inclinadas em relação ao acamamento. Não se observam ramificações verdadeiras, somente interseções. Bordos com discreta lineação, não ornamentados. O preenchimento da escavação é composto por sedimento idêntico ao da rocha hospedeira. O diâmetro das seções apresenta variações dentro do mesmo espécime e seu valor médio é de 4,55 mm. Preservação hipicnia em semirrelevo positivo.

Material analisado. 22 espécimes, nas amostras U-1640/I-033, U-1641/I-035, U-1665/I-053, U-1676/I-064, U-1679/I-067, U-1682/I-070, U-1684/I-072, U-1689/I-077, U-1690/I-078, U-1693/I-081, U-1695/I-083, U-1715/I-104 e U-1728/I-117 e espécimes observados em campo.

Discussão. O ícnogênero *Palaeophycus* reúne escavações cujos bordos possuem lineação e o preenchimento é de mesma litologia que a rocha hospedeira, sendo estas as duas características que o diferenciam do ícnogênero *Planolites* (Pemberton & Frey, 1982; Keighley & Pickerill, 1995). A presença ou ausência de ornamentação e a morfologia desta são os critérios diagnósticos para a classificação dos registros em uma das icnoespécies de *Palaeophycus* (Pemberton & Frey, 1982). *Palaeophycus tubularis*, icnoespécie-tipo do

icnogênero *Palaeophycus*, não apresenta ornamentação nos bordos da escavação, tal como *P. heberti* que, entretanto, exibe lineação consistentemente mais espessa que *P. tubularis* (Frey & Howard, 1985). *Palaeophycus* é considerada uma estrutura que objetivava a habitação de organismos suspensívoros ou predadores que, ao abandonarem a escavação, deixavam-na aberta e exposta ao preenchimento passivo por decantação do sedimento transportado pela água. Este icnogênero foi registrado em depósitos cuja idade varia desde o Pré-Cambriano até o Holoceno e, embora também associado a ambientes marinhos, é componente comum em icnocenoses não marinhas e marginais marinhas (e.g. Buatois & Mángano, 1993, 2002; Gradzinski & Uchman, 1994; Scott *et al.*, 2009).

Palaeophycus striatus Hall, 1852

Figura 5E

Descrição. Escavações de trajetória levemente curva, seção subcilíndrica a achatada, cujas extremidades adentram o substrato. Bordos com lineação, ornamentados por estrias longitudinais paralelas, cujo grau de preservação varia entre os espécimes. O preenchimento da escavação é composto por sedimento idêntico ao da matriz circundante. O diâmetro médio das seções é de 4,79 mm, sendo o mínimo de 1,71 mm e o máximo de 6,28 mm. Preservação hipicnia em semirrelevo positivo.

Material analisado. Três espécimes, nas amostras U-1641/I-035, U-1664/I-052 e U-1712/I-101.

Discussão. *Palaeophycus striatus* diferencia-se das demais icnoespécies de *Palaeophycus* que possuem ornamentação pelo paralelismo e a continuidade de suas estrias, já que em *P. sulcatus* o estriamento é irregularmente anastomosado e nos bordos de *P. alternatus* alternam-se estrias e anulações (Pemberton & Frey, 1982). Para Maples & Suttner (1990), a visualização das estrias de *P. striatus* está condicionada à produção da escavação em substrato cuja granulometria seja fina o suficiente para evidenciar estruturas diminutas e ao intemperismo diferencial do sedimentito hospedeiro e aquele que compõe a lineação dos bordos da escavação. Por sua vez, Buatois *et al.* (1997) enfatizam o critério da consolidação do substrato, na medida em que apontam que a presença de estrias nos bordos de *P. striatus* sugere substrato relativamente firme, talvez em estágio de transição entre *softground* e *firmground*. Ainda sobre este ponto de vista, Melchor *et al.* (2003) concluíram que a presença de *P. striatus* em arenitos de canais distributários de um delta lacustre, na Argentina, indica colonização de substrato parcialmente desidratado. Embora não exclusivo, é recorrente o

registro de *P. striatus* em depósitos não marinhos, especialmente em contexto fluvial ou lacustre (e.g. Keighley & Pickerill, 1997, 2003; Melchor *et al.*, 2003; Goldring *et al.*, 2005; Buatois & Mángano, 2007).

Ícnogênero *Planolites* Nicholson, 1873

Planolites montanus Richter, 1937

Figuras 4A-D, F, 5A-B, E, H

Descrição. Escavações horizontais ou sutilmente inclinadas, retilíneas a levemente curvas, de seção achatada a cilíndrica. Não se observa ramificações e as sobreposições são raras. Bordos lisos, sem lineação. O preenchimento da escavação difere da rocha hospedeira por ser de granulometria mais grosseira e, aparentemente, desprovido de matéria orgânica. Seções com diâmetro médio de 3,2 mm. Preservação hipicnia, em semirrelevo positivo.

Material analisado. 173 espécimes, nas amostras U-1640/I-033, U-1641/I-035, U-1652/I-040, U-1653/I-041, U-1656/I-044, U-1658/I-046, U-1659/I-047, U-1662/I-050 a U-1676/I-064, U-1678/I-066, U-1683/I-071 a U-1690/I-078, U-1692/I-080, U-1693/I-081, U-1695/I-083 a U-1698/I-086, U-1700/I-088 a U-1703/I-091, U-1707/I-095 a U-1712/I-101, U-1714/I-103 a U-1719/I-108, U-1721/I-110, U-1723/I-112 a U-1728/I-117, ULVG-7803 e ULVG-7806 e espécimes observados em campo.

Discussão. Trata-se do ícnogênero mais abundante dentro da icnofauna descrita na área de estudo. Sendo assim, variações morfológicas entre os espécimes são identificáveis, tais como diferenças na amplitude de curvatura da escavação (quando presente) e no diâmetro das seções. Pemberton & Frey (1982) definem tamanho, curvatura e anulações como chaves taxonômicas dentro do ícnogênero *Planolites*. Embora o tamanho e a curvatura da escavação geralmente sejam critérios secundários na diferenciação dos traços fósseis, este é um caso em que essa estratégia se justifica, já que a análise das amostras ora discutidas revela a morfologia marcadamente sinuosa e o diâmetro da seção nunca excedendo 5 mm, trajetória e dimensão características da icnoespécie *P. montanus*. Por sua vez, *P. beverleyensis* costuma apresentar largura superior a 8 mm e padrão retilíneo ou levemente curvado (Pemberton & Frey, 1982).

Planolites é uma estrutura *facies crossing*, interpretada como escavações temporárias de alimentação, geradas por um organismo endobionte de hábito detritívoro, capaz de processar o sedimento em seu trato intestinal (e.g. Häntzschel, 1975; Pemberton & Frey, 1982; Frey & Howard, 1985; Keighley & Pickerill, 1995; Uchman, 1995). Artrópodes também são

considerados possíveis produtores de *Planolites*, quando em ambientes não marinhos (Buatois & Mángano, 1993). Este icnogênero tem sido registrado em depósitos de idade pré-cambriana a pleistocênica, gerados em uma amplíssima gama de ambientes de sedimentação, que inclui desde a plataforma até o oceano aberto e corpos d'água continentais e marginais marinhos providos de níveis variados de salinidade, tipificados em contexto flúvio-estuarino, de planícies de maré e de delta influenciado pela maré, entre outros (e.g. Frey *et al.*, 1990; Netto, 1992; Buatois & Mángano, 1993; Buatois *et al.*, 2002, 2005; Uchman *et al.*, 2005b; Carmona *et al.*, 2009; Scott *et al.*, 2009).

Planolites beverleyensis Billings, 1862

Figura 5C

Descrição. Escavações horizontais, retilíneas a levemente curvas, de seção achatada. Não se observa ramificações ou sobreposições. Bordos lisos, sem lineação. O preenchimento da escavação é diferente daquele que compõe a matriz circundante em coloração e granulometria. Seções com diâmetro médio de 11,3 mm. Preservação hipicnia em semirrelevo positivo.

Material analisado. 10 espécimes, nas amostras U-1576/I-009, U-1653/I-041, U-1657/I-045, U-1677/I-065, U-1678/I-066, U-1692/I-080, U-1703/I-091, U-1718/I-107, U-1726/I-115 e U-1727/I-116.

Discussão. Além das características diagnósticas de *Planolites* discutidas em *P. montanus* tal como postuladas por Pemberton & Frey (1982), os critérios distintivos entre as icnoespécies deste icnogênero também foram mencionados por Buatois & Mángano (1993), para os quais *P. beverleyensis* se distingue de *P. annularius* pela ausência de anulações e de *P. terranova* pela ausência de estriações. O diâmetro médio dos exemplares provenientes do Cerro Caveiras se aproxima muito do que foi observado na literatura (Pemberton & Frey, 1982; Frey & Howard, 1985; Buatois & Mángano, 1993). Com relação à etologia, todas as estruturas refletem morfologia tipicamente resultante da atividade de alimentação e foram produzidas no mesmo contexto litológico que *P. montanus*, chegando a estar preservadas na mesma amostra espécimes de dimensões robustas e modestas.

ICNOGÊNERO *Scolicia* DE QUATREFAGES, 1849

Scolicia cf. plana

Figura 5D

1988 *Helminthopsis tenuis* Netto, p. 40

1992 *Helminthopsis tenuis* Netto, p. 71

Descrição. Estrutura trilobada, composta por uma crista subcilíndrica a achatada dividida, longitudinalmente, por uma delicada estria mediana, e dois sulcos rasos paralelos, localmente descontínuos. O conjunto possui trajetória leve a marcadamente ondulada. O preenchimento da crista é compactado e de litologia semelhante à da rocha hospedeira. Ornamentação ausente nos três lobos. A largura dos sulcos varia de 1,3 mm a 2,4 mm, e o diâmetro da crista é de 3,8 mm. Preservação hipícnia, em semirrelevo positivo.

Material analisado. Um espécime na amostra U-1651/I-039.

Discussão. Este espécime foi, originalmente, descrito e classificado por Netto (1992) como *Helminthopsis tenuis*. Porém, sua morfologia trilobada é evidente, sendo uma feição ausente em *Helminthopsis*. De acordo com a diagnose de Uchman (1998), *Scolicia* é um icnogênero caracterizado por seu formato bilobado ou trilobado, com dois sulcos paralelos, em trajetória ondulada ou meandrante. Smith & Crimes (1983) apontam que *Scolicia* pode representar tanto escavações produzidas na interface areia/lama como sulcos produzidos por animais semi-infaunais ou epifaunais, em pastagem pelo fundo oceânico. Seguindo os critérios apontados por estes autores, o fato do espécime coletado no Cerro Caveiras exibir crista preenchida pela areia da camada sobreposta à da amostra coletada e a existência de sulcos paralelos à crista, resultantes do deslocamento lateral do sedimento durante a locomoção do animal, remetem à identificação deste traço fóssil como uma pista.

O exemplar deste estudo é muito semelhante ao ilustrado por Uchman (1998, fig. 59B) como *S. plana*. Segundo este autor, uma feição diagnóstica de *S. plana* é a divisão longitudinal da crista mediana por um sulco raso no topo. Porém, a toponímia do espécime ora discutido e a forte dependência da granulometria do substrato para a preservação dos detalhes morfológicos de *Scolicia* são duas barreiras que tornam impossível acessar detalhes da estrutura original que permitiriam, por exemplo, uma correlação segura entre o sulco raso apontado por Uchman (1998) e a estria mediana preservada no topo da crista central.

Registros paleozóicos de *Scolicia* são associados a gastrópodes e crustáceos, sendo sua morfologia bem mais simples que a dos exemplares mesozóicos e cenozóicos, cujos produtores inferidos são equinóideos irregulares (e.g. Häntzschel, 1975; Smith & Crimes, 1983; Fu & Werner, 2000). Em função da variedade de possíveis produtores e da irradiação adaptativa destes ao longo da história, *Scolicia* tem sido registrado em sedimentos deltaicos,

marinhos rasos e profundos (e.g. Turner *et al.*, 1981; Uchman, 1995; Fu & Werner, 2000; Uchman *et al.*, 2005a; Rodríguez-Tovar *et al.*, 2010).

Icnogênero *Teichichnus* Seilacher, 1955

Teichichnus isp.

Figuras 5F-G

Descrição. Escavação horizontal em forma de calha, achatada, sem ramificações, formando *spreite* verticais. Bordos delimitados por filme pelítico, com discreta sinuosidade, formando saliências ao longo da escavação. Escavações com preenchimento de litologia semelhante à da rocha hospedeira e trajetória levemente recurvada. Os dois *spreite* observados estão dispostos em “V”, tomando posição horizontal em relação ao acamamento. Seções com diâmetro médio de 9 mm, preservação em hiporrelevo positivo.

Material analisado. Dois espécimes, nas amostras U-1712/I-101 e ULVG-7804 e espécimes observados em campo.

Discussão. A disposição em V dos *spreite* de *Teichichnus* na amostra estudada sugere o padrão de variação lateral da escavação ilustrado por Seilacher (2007) para *Teichichnus palmatus*. Contudo, a não observação clara de múltiplos *spreite* – característicos em *T. palmatus* – não permite sua identificação como pertencente a esta icnoespécie. Frey & Howard (1985) também observaram a presença de filme pelítico e de pequenas saliências ao longo do bordo dos espécimes de *Teichichnus* sp. (*oblique form*) e *Teichichnus* sp. aff. *T. rectus* do Panther Member (Star Point Formation, Cretáceo Superior de Utah, U.S.A.), assumindo estas últimas como resultantes de um padrão irregular de escavação adotado pelo produtor que não deixaria liso o bordo interno. No espécime do Cerro Caveiras, as saliências mostram-se dispostas regularmente ao longo da escavação. Assim, mais que um padrão de escavação irregular, as saliências sugerem pontos de apoio de partes mais rígidas dispostas ao longo do corpo do animal. Já a presença de um filme pelítico preservado ao redor da escavação sugere ter sido o produtor um organismo de corpo mole.

Poliquetas são organismos de corpo mole que possuem projeções rígidas ao longo do corpo (parapódios), que ajudam no deslocamento do animal, o que os faz excelentes candidatos a produtores do espécime de *Teichichnus* isp. aqui descrito. A preservação das saliências seria resultado de uma maior plasticidade e coesividade dos sedimentos quando da colonização do substrato. De fato, organismos vermiformes, em especial anelídeos, têm sido apontados como possíveis produtores de *Teichichnus*, além de crustáceos (e.g. Seilacher,

1964; Dam, 1990; Bland & Goldring, 1995). Existem evidências que sugerem que esses animais exploravam o sedimento, objetivando, além da obtenção de nutrientes, moradia temporária (Frey & Howard, 1985; Frey, 1990) e manutenção do equilíbrio da escavação, a fim de sobreviver em ambientes com altas taxas de sedimentação (Netto, 1992; Corner & Fjalstad, 1993; Chakraborty & Bhattacharya, 2005; MacEachern *et al.*, 2007; Carmona *et al.*, 2009).

Embora comumente registrado em substratos que dispunham de boa oxigenação, *Teichichnus* também ocorre em substratos com evidências de estresse ambiental, como alterações constantes na energia do meio e, principalmente, variações nas taxas de salinidade (*e.g.* Bjerstedt, 1987; Savrda & Nanson, 2003; Gingras *et al.*, 2007). Nesse caso, mostram-se com tamanho reduzido e com *spreiten* diminuto e achatado (Buatois *et al.*, 2005; Pemberton *et al.*, 2001). *Teichichnus* foi identificado em rochas cuja granulometria máxima não passa de areia média e cuja idade varia do Cambriano Inferior ao Terciário (Crimes *et al.*, 1992; Stanton & Dodd, 1984; Sagasti & Poiré, 1998). Na área alvo deste estudo, o exemplar de *Teichichnus* *isp.* está preservado na base de uma camada de arenito fino contendo estratificação cruzada por ondas, tendo sido escavado nos heterolitos compostos por areia muito fina e pelitos sotopostos a essa camada.

Ícnogênero *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

Thalassinoides *isp.*

Figura 5H

Descrição. Escavação horizontal, cilíndrica, com ramificação dicotômica, em forma de “Y”. Os componentes da escavação são retilíneos, com bordos lineados, desprovidos de ornamentação. O preenchimento da escavação possui litologia semelhante à da rocha hospedeira e o diâmetro varia de 5,21 mm a 8,25 mm ao longo do espécime, atingindo seu maior valor no ponto onde ocorre a bifurcação. Preservação hipicnia em semirrelevo positivo.

Material analisado. Um espécime na amostra EO-009.

Discussão. As características morfológicas do espécime estudado sugerem o padrão comumente associado a *Thalassinoides suevicus*, em especial pela orientação horizontal, o alargamento da escavação no ponto de bifurcação em “Y” e os bordos lisos, sugerindo lineação produzida exclusivamente por muco (*e.g.* Frey & Howard, 1985; Kim *et al.*, 2002; Netto de Carvalho *et al.*, 2007). Contudo, nesta oportunidade não há segurança para tal

identificação, pois foi coletada do Cerro Caveiras uma única amostra, cujo estado de preservação limita a observação de feições diagnósticas das demais icnoespécies de *Thalassinoides* discutidas na literatura (Ekdale, 1992; Myrow, 1995; Rodríguez-Tovar *et al.*, 2008).

A partir da observação de faunas modernas, crustáceos, especialmente decápodos, são apontados como principais produtores de *Thalassinoides*, como resultado de atividades que incluem alimentação e moradia (*e.g.* Pemberton *et al.*, 1984; Ekdale, 1992; Myrow, 1995; Buatois *et al.*, 2002; Rodríguez-Tovar & Uchman, 2006). Registros de *Thalassinoides* são abundantes do Cretáceo ao Holoceno, a despeito da escassez de fósseis paleozóicos de crustáceos. Isto levou alguns autores a atribuir este padrão de escavação a produtores pertencentes a filos caracterizados por animais de corpo mole (Myrow, 1995; Bromley, 1996; Ekdale & Bromley, 2003; Carmona *et al.*, 2004). A ocorrência de *Thalassinoides*, embora típica de ambientes marinhos, é possível em contextos marginais marinhos e continentais, na medida em que a biota produtora de escavações ramificadas suporta variações de batimetria, salinidade e, especialmente, consistência do substrato, que pode variar de *softground* a *hardground* (Ekdale, 1992; Kim *et al.*, 2002; Pemberton *et al.*, 2004; Buatois *et al.*, 2005; Gingras *et al.*, 2007).

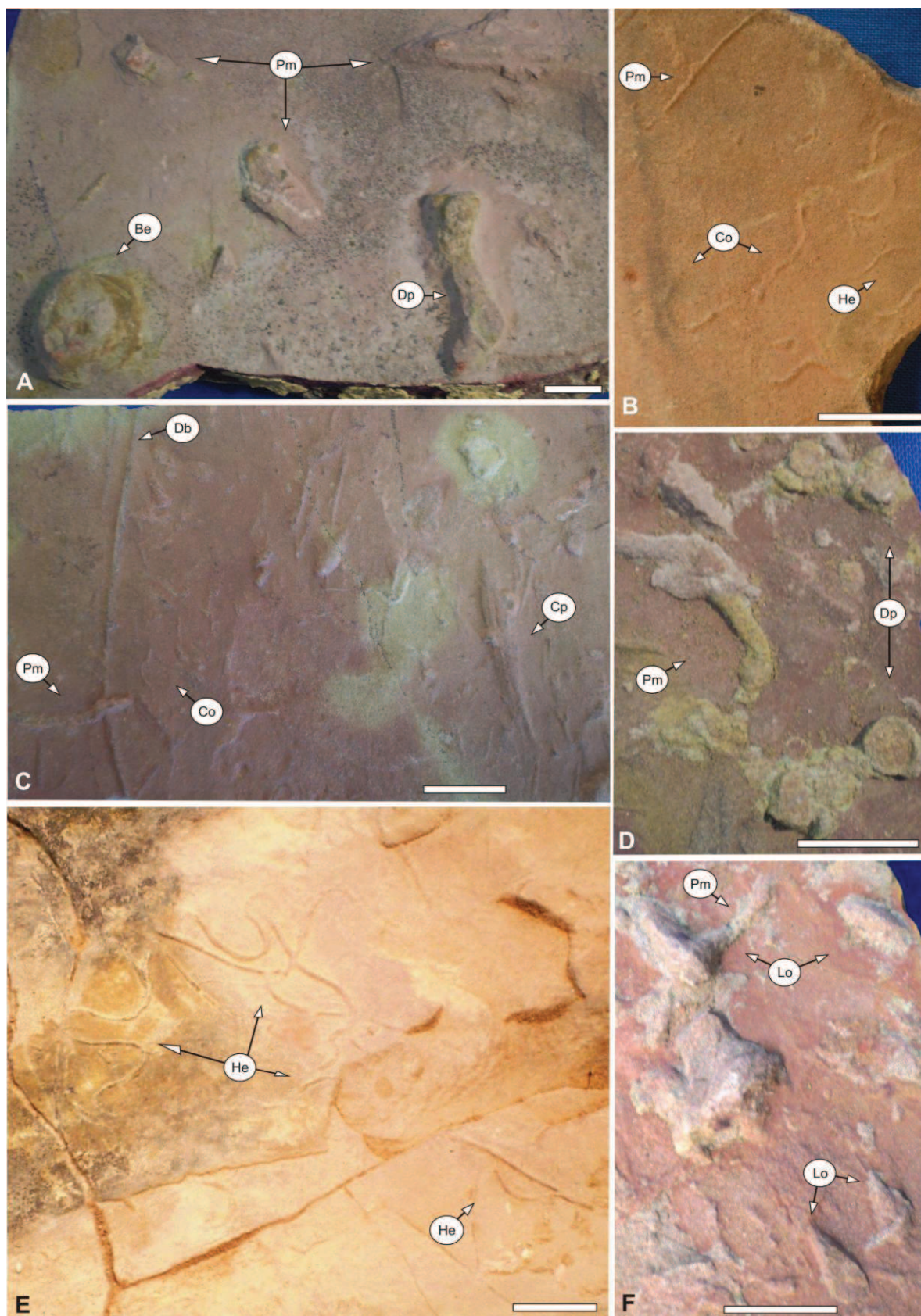


Figura 4. Icnofauna da Formação Teresina no Cerro Caveiras. **A.** *Bergaueria* isp., *Diplocraterion* isp. e *Planolites montanus* (U-1641/I-035). **B.** *Cochlichnus anguineus*, *Helminthopsis tenuis* e *P. montanus* (U-1652/I-040). **C.** *C. anguineus*, *Cruziana problematica*, *Diplopodichnus biformis* e *P. montanus* (ULVG-7806). **D.** *Diplocraterion* isp. e *P. montanus* (U-1663/I-051). **E.** *Helminthopsis* isp. (espécimes observados em campo). **F.** *Lockeia siliquaria* e *P. montanus* (U-1683/I-071). **Abreviações:** Be, *Bergaueria*; Cp, *Cruziana*; Co, *Cochlichnus*; Db, *Diplopodichnus*; Dp, *Diplocraterion*; He, *Helminthopsis*; Lo, *Lockeia*; Pm, *Planolites montanus*. Escalas: 10 mm.

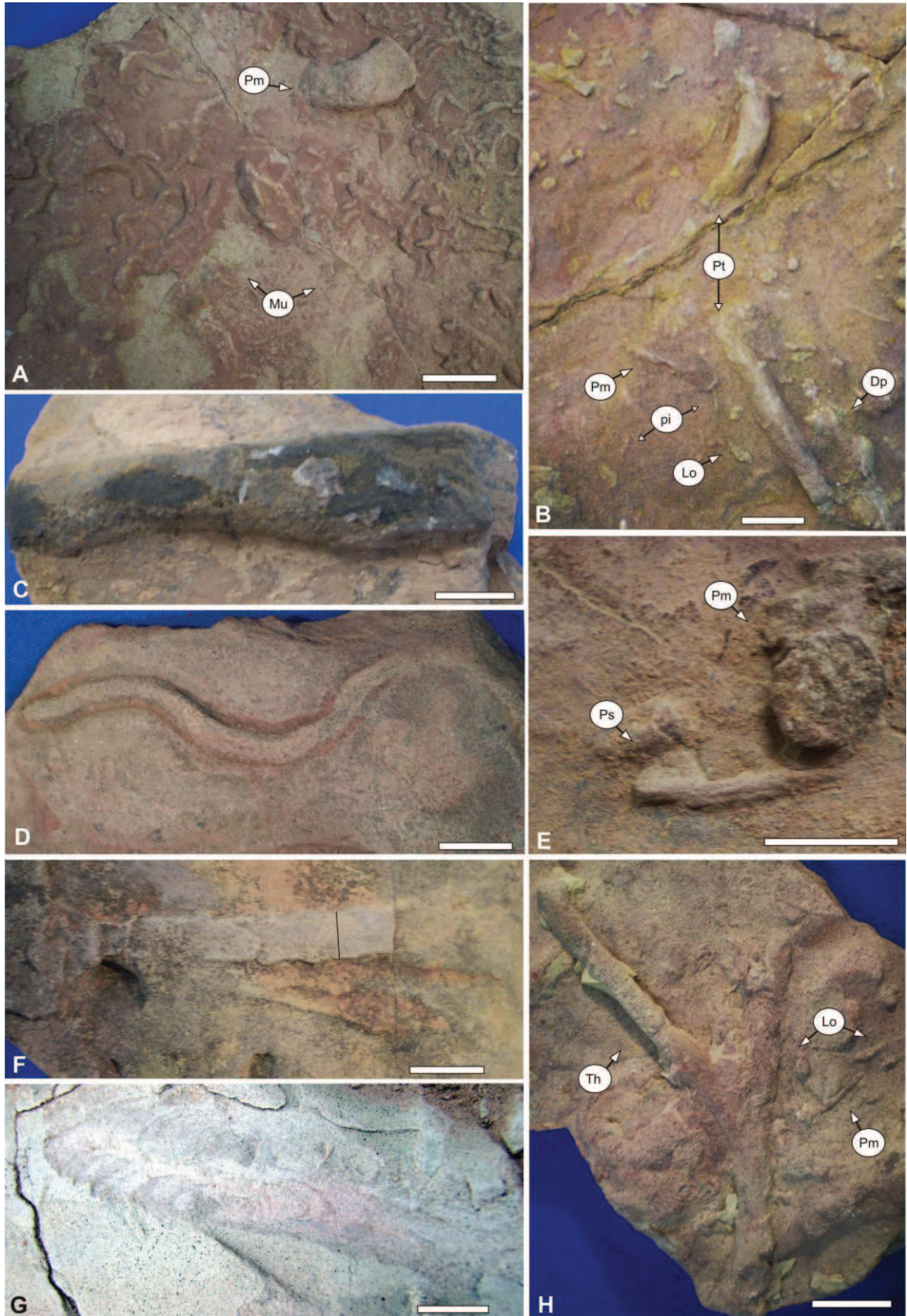


Figura 5. Icnofauna da Formação Teresina no Cerro Caveiras. **A.** *Multina minima* e *Planolites montanus* (U-1576/I-009). **B.** *Palaeophycus tubularis*, *P. montanus*, *L. siliquaria*, *Diplocraterion* isp. e pistas de pastagem indeterminadas (U-1665/I-053). **C.** *Planolites beverleyensis* (U-1692/I-080). **D.** *Scolicia* cf. *plana* (U-1651/I-039). **E.** *Palaeophycus striatus* e *P. montanus* (U-1641/I-035). **F-G.** *Teichichnus* isp. (F, ULVG-7804; G, espécime observado em campo). **H.** *Thalassinoides* isp., *L. siliquaria* e *P. montanus* (EO-009). **Abreviações:** Dp, *Diplocraterion*; Lo, *Lockeia*; Pm, *P. montanus*; Pt, *Palaeophycus tubularis*; Ps, *P. striatus*; Th, *Thalassinoides* isp.. Escalas: 10 mm.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A icnofauna da Formação Teresina preservada no Cerro Caveiras é dominada por escavações rasas e simples, horizontalizadas em relação ao acamadamento, produzidas na interface entre as camadas arenosas e lamosas. Escavações de alimentação são as estruturas dominantes. Subordinadamente, ocorrem estruturas de repouso, de moradia, e de deslocamento e diminutas pistas de pastagem indeterminadas (Figura 5B). Escavações bifurcadas ou com *spreiten*, que sugerem um padrão comportamental mais complexo, são raras. O tamanho das escavações é compatível com a média observada nas descrições dos icnotáxons que serviram de base comparativa nesse estudo. A quantidade e a diversidade da bioturbação são baixas e *Planolites montanus* é o icnotáxon dominante, exibindo padrão uniforme de distribuição ao longo de toda a sucessão.

O padrão da icnofauna e das fácies sedimentares a que está associada evidencia colonização em meio subaquático e a maioria dos icnogêneros presentes comumente são observados em icnofaunas bentônicas marinhas rasas (e.g. Häntzschel, 1975; Pemberton & Frey, 1982; Uchman, 1995, 1998; Schlirf *et al.*, 2001; Sarkar *et al.*, 2009). Escavações horizontais simples são consideradas estruturas temporárias de alimentação de animais detritívoros (e.g. Pemberton & Frey, 1982; Frey & Howard, 1985; Keighley & Pickerill, 1995), sinalizando que os nutrientes estariam concentrados dentro do substrato. Além disso, a escassez de escavações com *spreiten* e a ausência de estruturas com limites reforçados permitem supor um substrato com consistência macia (*softground*) e um ambiente de moderada a baixa energia hidrodinâmica (e.g. Frey *et al.*, 1990; Pemberton *et al.*, 1992; Bromley, 1996; Buatois *et al.*, 2002).

Tal como apontado por Netto (1988, 1992), as características gerais da assembleia icnofossilífera da Formação Teresina no Cerro Caveiras remetem à Icnofácies *Cruziana*. Contudo, a significativa baixa icnodiversidade (se comparadas às ocorrências típicas de Icnofácies *Cruziana* arquetípica), o baixo índice de bioturbação e a dominância de estruturas simples de alimentação, sugerem uma fauna bentônica estressada por flutuações de salinidade (e.g. Beynon *et al.*, 1988; Pemberton & Whightman, 1992; Bann & Fielding, 2004; Buatois *et al.*, 2005, 2007; MacEachern *et al.*, 2007; Carmona *et al.*, 2009). A ausência de escavações verticais e a ocorrência comum de colonizações monoespecíficas de *Planolites*, uma escavação comum em ambientes marinhos e não marinhos ao longo de todo o Fanerozóico, sugere que tal flutuação seria extrema, levando ao estabelecimento de condições de água doce (oligohalina) e à manutenção dessas condições por períodos mais longos (e.g. Bann &

Fielding, 2004; Melchor, 2004; MacEachern *et al.*, 2005; Rossetti & Netto, 2006; Gani *et al.*, 2007; Buatois *et al.*, 2008; Carmona *et al.*, 2009).

Uma análise integrada da incofauna e da sedimentologia da Formação Teresina no Cerro Caveiras permitirá o reconhecimento das assinaturas icnológicas e favorecerá ao melhor entendimento da paleoecologia dos depósitos e dos paleoambientes ali representados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (processos 479457/2007-7 e 303041/2007-2), pelo auxílio concedido para realização desse trabalho, e à CAPES, pela bolsa PROSUP a JHDL. Agradecem também a A.F. Stranz, pela confecção do mapa de localização da área de estudo, a E.L.C. Lavina, pelas discussões de caráter sedimentológico e estratigráfico, e a F.M.W. Tognoli, C. Klein e N.B. Carmona, pela revisão crítica do manuscrito original. Este trabalho é uma contribuição ao Simposio Latinoamericano de Icnología/Latin American Symposium on Ichnology – SLIC 2010.

REFERÊNCIAS

- Aceñolaza, F.G. & Buatois, L.A. 1993. Nonmarine perigondwanic trace fossils from the Paleozoic of Argentina. *Ichnos*, **2**:183-201.
- Ager, D.V. & Wallace, P. 1970. The distribution and significance of trace fossils in the uppermost Jurassic rocks of the Boulonnais, Northern France. *In*: T.P. Crimes & J.C. Harper (eds.) *Trace fossils*. Geological Journal, Special Issue 3, p. 359-376.
- Alpert, S.P. 1973. *Bergaueria* Prantl (Cambrian and Ordovician), a probable actinian trace fossil. *Journal of Paleontology*, **47**:919-924.
- Balistieri, P.; Netto, R.G. & Lavina, E.L.C. 2002. Ichnofauna from the Upper Carboniferous-Lower Permian rhythmites from Mafra, Santa Catarina State, Brazil: Ichnotaxonomy. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **4**:13-26.
- Balistieri, P.; Netto, R.G. & Lavina, E.L.C. 2003. Ichnofauna de ritmitos do topo da Formação Mafra (Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná) em Rio Negro, Estado do Paraná (PR), Brasil. *Publicación Especial de la Asociación Paleontológica Argentina*, **9**:131-139.
- Bann, K.L. & Fielding, C.R. 2004. An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia. *In*: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and*

- Stratigraphic Analysis*. The Geological Society of London, Special Publication 228, p. 273-310.
- Benyon, B.M.; Pemberton, S.G.; Bell, D.A. & Logan, C.A. 1988. Environmental implications of ichnofossils from the Lower Cretaceous Grand Rapids Formation, Cold Lake oil sands deposit. In: D.P. James & D.A. Leckie (eds.) *Sequences, Stratigraphy, Sedimentology, Surface and Subsurface*: Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 15, p. 275-290.
- Bjerstedt, T.W. 1987. Latest Devonian – Earliest Mississippian Nearshore trace-fossil assemblages from West Virginia, Pennsylvania, and Maryland. *Journal of Paleontology*, **61**(5):865-889.
- Bland, B.H. & Goldring, R. 1995. *Teichichnus* Seilacher 1955 and other trace fossils (Cambrian?) from the Charnian of Central England. *Neues Jahrbuch Geologie und Paläontologie*, **195**:5-23.
- Bromley, R.G. 1990. *Trace Fossils. Biology and Taphonomy*. Unwin Hyman, London, 280 p.
- Bromley, R.G. 1996. *Trace Fossils - Biology, Taphonomy and Applications*. 2^a ed., London, Chapman and Hall, 361 p.
- Bromley, R.G. & Asgaard, U. 1979. Triassic freshwater ichnocoenosis from Carlsberg Fjord, East Greenland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **28**:39-80.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 1993. Trace fossils from a Carboniferous turbiditic lake: implications for the recognition of additional nonmarine ichnofacies. *Ichnos*, **2**:237-258.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 1995. The paleoenvironmental and paleoecological significance of the lacustrine *Mermia* Ichnofacies: an archetypical subaqueous nonmarine trace fossil assemblage. *Ichnos*, **4**:151-161.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 2002. Trace fossils from Carboniferous floodplain deposits in western Argentina: implications for ichnofacies models of continental environments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **183**:71-86.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 2004. Animal-substrate interactions in freshwater environments: applications of ichnology in facies and sequence stratigraphic analysis of fluvio-lacustrine successions. In: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. The Geological Society of London, Special Publication 228, p. 157-178.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 2007. Invertebrate Ichnology of Continental Freshwater Environments. In: W. Miller, III (ed.) *Trace fossils concepts, problems, prospects*. Geology Department Humboldt State University, p. 285-323.

- Buatois, L.A.; Jalfin, G. & Aceñolaza, F.G. 1997. Permian nonmarine invertebrate trace fossils from Southern Patagônia, Argentina: ichnologic signatures of substrate consolidation and colonization sequences. *Journal of Paleontology*, **71**:323-336.
- Buatois, L.A.; Mángano, M.G.; Maples, C.G. & Lanier, W.P. 1998. Taxonomic reassessment of the ichnogenus *Beaconichnus* and additional examples from the Carboniferous of Kansas, USA. *Ichnos*, **5**:287-302.
- Buatois, L.A.; Mángano, M.G. & Aceñolaza, F.G. 2002. *Trazas Fósiles: Señales de comportamiento en el Registro Estratigráfico*. Chubut, Arsa Gráfica, Edición Especial MEF 2. 382 p.
- Buatois, L.A.; Gingras, M.K.; MacEachern, J.A.; Mángano, M.G.; Zonneveld, J.P.; Pemberton, S.G.; Netto, R.G. & Martin, A. 2005. Colonization of brackish-water systems through time: evidence from the trace-fossil record. *Palaios*, **20**:321-347.
- Buatois, L.A.; Netto, R.G. & Mángano, M.G. 2007. Ichnology of Permian marginal- to shallow-marine coal-bearing successions: Rio Bonito and Palermo Formations, Paraná Basin, Brazil. In: J.A. MacEachern; L.K. Bann; M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes 52, p. 167-177.
- Buatois, L.A.; Santiago, N.; Parra, K. & Steel, R. 2008. Animal-substrate interactions in an early miocene wave-dominated tropical delta: delineating environmental stresses and depositional dynamics (Tácata Field, Eastern Venezuela). *Journal of Sedimentary Research*, **78**:458-479.
- Buatois, L. A.; Mángano, M. G.; Brussa, E. D.; Benedetto, J. L. & Pompei, J. F. 2009. The changing face of the deep: colonization of the Early Ordovician deep-sea floor, Puna, northwest Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **280**:291-299.
- Carmona, N.B.; Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 2004. The trace fossil record of burrowing decapod crustaceans: evaluating evolutionary radiations and behavioural convergence. In: B.D. Webby; M.G. Mángano & L.A. Buatois (eds.) *Trace fossils in evolutionary palaeoecology. Fossils & Strata*, **51**:141-153.
- Carmona, N.B.; Buatois, L.A.; Ponce, J.J. & Mángano, M.G. 2009. Ichnology and sedimentology of a tide-influenced delta, Lower Miocene Chenque Formation, Patagonia, Argentina: trace-fossil distribution and response to environmental stresses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **273**:75-86.
- Chakraborty, A. & Bhattacharya, H.N. 2005. Ichnology of a Late Paleozoic (Permo-Carboniferous) Glaciomarine Deltaic Environment, Talchir Formation, Saharjuri Basin, India. *Ichnos*, **12**:31-45.

- Chamberlain, C.K. 1975. Recent lebensspuren in nonmarine aquatic sediments. *In*: R.W. Frey (ed.) *The Study of Trace Fossils*. Springer-Verlag, p. 431-458.
- Coates, L. & MacEachern, J.A. 2007. The ichnological signatures of river- and wave-dominated delta complexes: differentiating deltaic and non-deltaic shallow marine successions, Lower Cretaceous Viking Formation and Upper Cretaceous Dunvegan Formation, west-central Alberta. *In*: J.A. MacEachern, L.K. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes 52, p. 227-254.
- Corner, G.D. & Fjalstad, A. 1993. Spreite trace fossils (*Teichichnus*) in a raised Holocene fjord-delta, Breidvikeidet, Norway. *Ichnos*, **2**:155-164.
- Crimes, T.P.; Hidalgo, J.F.C. & Poiré, D.G. 1992. Trace fossils from Arenig flysh sediments of Eire and their bearing on the early colonisation of the deep seas. *Ichnos*, **2**:61-77.
- Dam, G. 1990. Taxonomy of trace fossils from the shallow marine Lower Jurassic Neill Klintor Formation, East Greenland. *Bulletin of the Geologic Society Denmark*, **38**:119-144.
- Eagar, R.M.C.; Baines, J.G.; Collinson, J.D.; Hardy, P.G.; Okolo, S.A. & Pollard, J.E. 1985. Trace fossil assemblages and their occurrence in Silesian (Mid-Carboniferous) deltaic sediments of the Central Pennine Basin - England. *In*: H.A. Curran (ed.) *Biogenic Structures: their Use in Interpreting Depositional Environments*, SEPM Special Publication 35, p. 99-150.
- Ekdale, A.A. 1992. Muckraking and mudslinging: the joys of deposit-feeding. *In*: C.G. Maples & R.R. West (eds.) *Trace fossils*. Paleontological Society, Short Courses in Paleontology 5, p. 145-171.
- Ekdale, A.A. & Bromley, R.G. 2001. A day and a night in the life of a cleft-foot clam: *Protovirgularia-Lockeia-Lophoctenium*. *Lethaia*, **34**:119-124.
- Ekdale, A.A. & Bromley, R.G. 2003. Paleoethologic interpretation of complex *Thalassinoides* in shallow-marine limestones, Lower Ordovician, southern Sweden. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **192**:221-227.
- Ekdale, A.A. & Lamond, R.E. 2003. Behavioral cladistics of trace fossils: evolution of derived trace-making skills. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **192**:335-343.
- Figueiredo Filho, P.M. 1972. A faciologia do Grupo Passa Dois no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, **2**(4):216-35.
- Fillion, D. & Pickerill, R.K. 1984. On *Arthraria antiquata* Billings, 1972 and its relationship to *Diplocraterion* Torell, 1870 and *Bifungites* Desio, 1940. *Journal of Paleontology*, **58**:683-696.

- Frey, R.W. 1990. Trace fossils and hummocky cross-stratification, Upper Cretaceous of Utah. *Palaios*, **5**:203-218.
- Frey, R.W. & Howard, J.D. 1985. Trace fossils from the Panter Member, Star Point Formation (Upper Cretaceous), Coal Creek Canyon, Utah. *Journal of Paleontology*, **59**:370-404.
- Frey, R.W.; Pemberton, S.G. & Saunders, T.D.A. 1990. Ichnofacies and bathymetry: a passive relationship. *Journal of Paleontology*, **64**:155-158.
- Fu, S. & Werner, F. 2000. Distribution, ecology and taphonomy of the organism trace, *Scolicia*, in northeast Atlantic deep-sea sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **156**:289-300.
- Gama Jr., E. 1979. Sedimentação do Grupo Passa Dois (inclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. *Revista Brasileira de Geociências*, **9**(1):1-16.
- Gani, M.R.; Bhattacharya, J.P. & MacEachern, J.A., 2007. Using ichnology to determine relative influence of waves, storms, tides and rivers in deltaic deposits: examples from Cretaceous delta complexes in the Western Interior Seaway, Wyoming - Utah, USA. *In*: J.A. MacEachern; L.K. Bann; M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes 52, p.209-225.
- Gibert, J.M. de & Ekdale, A.A. 2002. Ichnology of a restricted epicontinental sea, Arapien Shale, Middle Jurassic, Utah, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **183**:275-286.
- Gibert, J.M. de; Frenegeal-Martínez, M.A.; Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 2000. Trace fossils and their palaeoecological significance in Lower Cretaceous lacustrine conservation deposits, El Montsec, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **156**:89-101.
- Gingras, M.K.; Bann, K.L.; MacEachern, J.A. & Pemberton, S.G. 2007. A conceptual framework for the application of trace fossils. *In*: J.A. MacEachern; L.K. Bann; M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes 52, p.1-26.
- Gluszek, A. 1995. Invertebrate trace fossils in the continental deposits of an Upper Carboniferous coal-bearing succession, Upper Silesia, Poland. *Studia Geologica Polonica*, **108**:171-202.
- Goldring, R.; Pollard, J.E. & Radley, J.D. 2005. Trace fossils and pseudofossils from the Wealden strata (non-marine Lower Cretaceous) of southern England. *Cretaceous Research*, **26**:665-685.

- Gradzinski, R. & Uchman, A. 1994. Trace fossils from interdune deposits – an example from the Lower Triassic Aeolian Tumlin Sandstone, central Poland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **108**:121-138.
- Hann, Y. & Pickerill, R.K. 1995. Taxonomic revision of the ichnogenus *Helminthopsis* Heer 1877 with a statistical analysis of selected ichnospecies. *Ichnos*, **4**:83-118.
- Häntzschel, W. 1975. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part W, Miscellanea, Supplement 1, Trace fossils and problematica*. Kansas, University of Kansas and Geological Society of America, 269 p.
- Keighley, D.G. & Pickerill, R.K. 1995. The ichnotaxa *Palaeophycus* and *Planolites*: historical perspectives and recommendations. *Ichnos*, **3**:301-309.
- Keighley, D.G. & Pickerill, R.K. 1996. Small *Cruziana*, *Rusophycus*, and related ichnotaxa from eastern Canada: the nomenclatural debate and systematic ichnology. *Ichnos*, **4**:261-285.
- Keighley, D.G. & Pickerill, R.K. 1997. Systematic ichnology of the Mabou and Cumberland Groups (Carboniferous) of western Cape Breton Island, eastern Canada, 1: Burrows, pits, trails, and coprolites. *Atlantic Geology*, **33**:181-215.
- Keighley, D.G. & Pickerill, R.K. 2003. Ichnocoenoses from the Carboniferous of eastern Canada and their implications for the recognition of ichnofacies in nonmarine strata. *Atlantic Geology*, **39**:1-22.
- Kim, J.Y.; Kim, K.-S. & Pickerill, R.K. 2002. Cretaceous nonmarine trace fossils from the Hasandong and Jinju formations of the Namhae area, Kyongsangnamdo, Southeast Korea. *Ichnos*, **9**:41-60.
- Krapovickas, V.; Ciccioli, P.L.; Mángano, M.G.; Marsicano, C.A. & Limarino, C.O. 2009. Paleobiology and paleoecology of an arid-semiarid Miocene South American ichnofauna in anastomosed fluvial deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **284**:129-152.
- Lavina, E.L. 1991. *Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 333 p.
- Lermen, R.E. 2006. *Assinaturas icnológicas em depósitos glaciogênicos do Grupo Itararé no RS*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Dissertação de Mestrado, 84 p.
- Leszczynski, S.; Uchman, A. & Bromley, R.G. 1996. Trace fossils indicating bottom aeration changes: Folsz Limestone, Oligocene, Outer Carpathians, Poland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **121**:79-87.

- Lima, J.H.D. 2010. *Icnologia de depósitos marinhos regressivos: o exemplo da Formação Teresina (Permiano, bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Dissertação de Mestrado, 92 p.
- MacEachern, J.A.; Bann, K.L.; Bhattacharya, J.P. & Howell, C.D. 2005. Ichnology of deltas, organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves, storms, and tides. *In: L. Giosan & J.P. Bhattacharya (eds.) River Deltas: Concepts, Models and Examples*. SEPM, Special Publication 83, p. 49-85.
- MacEachern, J.A.; Pemberton, S.G., Bann, K.L. & Gingras, M.K. 2007. Departures from the archetypal ichnofacies: effective recognition of physic-chemical stresses in the rock record. *In: J.A. MacEachern; L.K. Bann; M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes 52, p. 65-93.
- Macsoy, O. 1967. Huellas problemáticas y su valor paleoecológico en Venezuela. *GEOS (Venezuela)*, **16**:7-79.
- Mángano, M.G.; Buatois, L.A. & Claps, G.L. 1996. Grazing trails formed by soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) and their paleoenvironmental and paleoecological implications for the fossil record. *Ichnos*, **4**:163-167.
- Mángano, M.G.; Buatois, L.A.; West, R.R. & Maples, C.G. 1998. Contrasting behavioral and feeding strategies recorded by tidal-flat bivalve trace fossils from the Upper Carboniferous of Eastern Kansas. *Palaios*, **13**:335-351.
- Maples, C.G. & Suttner, L.J. 1990. Trace fossils and marine-nonmarine cyclicity in the Fountain Formation (Pennsylvanian: Morrowan/Atokan) near Manitou Springs, Colorado. *Journal of Paleontology*, **64**:859-880.
- Martin, K.D. 2004. A re-evaluation of the relationship between trace fossils and dysoxia. *In: D. McIlroy (ed.) The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. The Geological Society of London, Special Publication 228, p. 141-156.
- McIlroy, D. 2004. Ichnofabrics and sedimentary facies of a tide-dominated delta: Jurassic Ile Formation of Kristin Field, Haltenbanken, Offshore Mid-Norway. *In: D. McIlroy (ed.) The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. The Geological Society of London, Special Publication 228, p. 237-272.
- McIlroy, D. 2007. Ichnology of a macrotidal tide-dominated deltaic depositional system: Lajas Formation, Neuquén Province, Argentina. *In: R.G. Bromley; L.A. Buatois; M.G. Mángano; J.F. Genise & R.N. Melchor (eds.) Sediment-Organism Interactions; A Multifaceted Ichnology*. SEPM Special Publication 88, p.195-211.

- Melchor, R.N. 2004. Trace fossil distribution in lacustrine deltas: examples from the Triassic rift lakes of the Ischigualasto-Villa Union basin, Argentina. *In: D. McIlroy (ed.) The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. The Geological Society of London, Special Publication 228, p. 335-354.
- Melchor, R.N.; Bellosi, E. & Genise, J.F. 2003. Invertebrate and vertebrate trace fossils from a lacustrine delta: the Los Rastros formation, Ischigualasto provincial park, San Juan, Argentina. *Publicación Especial de la Asociación Paleontológica Argentina*, **9**:17-33.
- Milani, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 228 p.
- Milani, E.J.; Melo, J.H.G.; Souza, P.A.; Fernandes, L.A. & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, **15**(2):265-287.
- Myrow, P.M. 1995. *Thalassinoides* and the enigma of Early Paleozoic open-framework burrow systems. *Palaios*, **10**:58-74.
- Neto de Carvalho, C.; Viegas, P.A. & Cachao, M. 2007. *Thalassinoides* and its producer: populations of *Mecochirus* buried within their burrow systems, Boca do Chapim Formation (Lower Cretaceous), Portugal. *Palaios*, **22**:104-109.
- Netto, R.G. 1988. *Paleoicnologia dos sedimentitos basais da Formação Rio do Rasto no Estado do Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 92 p.
- Netto, R.G. 1992. Paleoecology of ichnocoenoses in the *Cruziana* Ichnofacies, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, (Upper Permian) from the Parana Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Geologica Leopoldensia*, **36**:67-82.
- Netto, R.G. 2001. Icnologia e estratigrafia de seqüências. *In: H.J.P. Severiano Ribeiro (ed.) Estratigrafia de seqüências - fundamentos e aplicações*, Ed. UNISINOS, p. 219-259.
- Netto, R.G.; Balistieri, P.R.M.N.; Lavina, E.L.C. & Silveira, D.M. 2009. Ichnological signatures of shallow freshwater lakes in the glacial Itararé Group (Maфра Formation, Upper Carboniferous–Lower Permian of Paraná Basin, S Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **272**:240-255.
- Noffke, N.; Gerdes, G.; Klenke, T. & Krumbein, W.E. 2001. Microbially induced sedimentary structures – a new category within the classification of primary sedimentary structures. *Journal of Sedimentary Research*, **71**:649-656.

- Nogueira, M.S. & Netto, R.G. 2001a. A presença de *Cruziana* nos sedimentos da Formação Rio do Sul (Grupo Itararé, Permocarbonífero da bacia do Paraná) na pedreira Itaú-Itaúna, Santa Catarina, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, **52/53**:387-396.
- Nogueira, M.S. & Netto, R.G. 2001b. Icnofauna da Formação Rio do Sul (Grupo Itararé, Permiano da bacia do Paraná) na pedreira Itaú-Itaúna, Santa Catarina, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, **52/53**:397-406.
- Orłowski, S. & Żylińska, A. 1996. Non-arthropod burrows from the Middle and Late Cambrian of the Holy Cross Mountains, Poland. *Acta Palaeontologica Polonica*, **41**:385-409.
- Pemberton, S.G. & Frey, R.W. 1982. Trace fossil nomenclature and the *Planolites* – *Palaeophycus* dilemma. *Journal of Paleontology*, **56**:843-881.
- Pemberton, S.G.; Frey, R.W. & Bromley, R.G. 1988. The ichnotaxonomy of *Conostichus* and other plug-shaped ichnofossils. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **25**:886-892.
- Pemberton, S.G.; Frey, R.W. & Walker, R.G. 1984. Probable lobster burrows in the Cardium Formation (Upper Cretaceous) of southern Alberta, Canada, and comments on modern burrowing decapods. *Journal of Paleontology*, **58**:1422-1435.
- Pemberton, S.G.; MacEachern, J.A. & Frey, R.W. 1992. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. In: R.G. Walker & N.P. James (eds.) *Facies Models: Response to Sea Level Changes*. Geological Association of Canada, p. 47-72.
- Pemberton, S.G.; MacEachern, J.A. & Saunders, T. 2004. Stratigraphic applications of substrate-specific ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record. In: D. McIlroy (ed.) *The application of Ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*. Special Publication Geological Society of London 228, p. 29-62.
- Pemberton, S.G.; Spila, M.; Pulham, A.J.; Saunders, T.; Robbins, D. & Sinclair, I.K. 2001. *Ichnology and Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems*. Calgary, Geological Association of Canada Short Course 15, 343 p.
- Pemberton, S.G. & Wightman, D.M. 1992. Ichnological characteristics of brackish water deposits. In: Pemberton, S.G. (ed.) *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration - A Core Workshop*: SEPM, Core Workshop 17, p.141-167.
- Rodríguez-Tovar, F.J. & Uchman, A. 2006. Ichnological analysis of the Cretaceous–Palaeogene boundary interval at the Caravaca section, SE Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **242**:313-325.
- Rodríguez-Tovar, F.J.; Puga-Bernabéu, A. & Buatois, L.A. 2008. Large burrow systems in marine Miocene deposits of the Betic Cordillera (Southeast Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **268**:19-25.

- Rodríguez-Tovar, F.J.; Uchman, A.; Payros, A.; Orue-Etxebarria, X.; Apellaniz, E. & Molina, E. 2010. Sea-level dynamics and palaeoecological factors affecting trace fossil distribution in Eocene turbiditic deposits (Gorrondatxe section, N Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **285**:50-65.
- Rohn, R. 1989. Grupo Passa Dois. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, Curitiba, *Anais*, SBP, **5**:34-42.
- Rossetti, D.F. & Netto, R.G. 2006. First evidence of marine influence in the Cretaceous of the Amazonas Basin, Brazil. *Cretaceous Research*, **27**:513-528.
- Sagasti, G. & Poiré, D.G. 1998. Asociaciones icnolitológicas de la porción basal de la Formación Agrio, arroyo Loncoche, provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, **5**(2):105-118.
- 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. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **283**:28-45.
- Savrda, C.E. 2007. Trace fossils and marine benthic oxygenation. In: W. Miller, III (ed.) *Trace fossils concepts, problems, prospects*. Geology Department Humboldt State University, p. 149-158.
- Savrda, C.E. & Nanson, L.L. 2003. Ichnology of fair-weather and storm deposits in an Upper Cretaceous estuary (Eutaw Formation, western Georgia, USA). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **202**:67-83.
- Schlirf, M.; Uchman, A. & Kummel, M. 2001. Upper Triassic (Keuper) non-marine trace fossils from the Hagberge area (Franconia, south-eastern Germany). *Paläontologische Zeitschrift*, **75**:71-96.
- Schneider, R.L.; Müllmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R.A.; Daemon, R.F. & Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, *Anais*, SBG, **1**:41-65.
- Scott, J.J.; Renaut, R.W.; Buatois, L.A. & Owen R.B. 2009. Biogenic structures in exhumed surfaces around saline lakes: an example from Lake Bogoria, Kenya Rift Valley. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **272**:176-198.
- Seilacher, A. 1964. Biogenic sedimentary structures. In: J. Imbrie & N. D. Newel (eds.) *Approaches to Paleocology*, John Wiley & Sons, Inc., p. 296-316.
- Seilacher, A. 2003. *Arte Fóssil*. Divulgações do Museu de Ciências e Tecnologia, UBEA/PUCRS, Porto Alegre, Publicação Especial 1, p. 1-86.
- Seilacher, A. 2007. *Trace Fossil Analysis*. Heidelberg, Springer-Verlag, 226 p.

- Seilacher, A. & Seilacher, E. 1994. Bivalvian trace fossils: a lesson from actuopaleontology. *Courier Forschungsinstitut Institut Senckenberg*, **169**:5-15.
- Smith, A.B. & Crimes, T.P. 1983. Trace fossils formed by heart urchins – a study of *Scolicia* and related traces. *Lethaia*, **16**:79-92.
- Stanton, R. J. & Dodd, J. R. 1984. *Teichichnus pescaderoensis* – new ichnospecies in the Neogene shelf and slope sediments, California. *Facies*, **11**:219-228.
- Turner, B.R.; Stanistreet, I.G. & Whateley, M.K.G. 1981. Trace fossils and palaeoenvironments in the Ecca Group of the Nongoma Graben, northern Zuzuland, South Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **36**:113-123.
- Uchman, A. 1995. Taxonomy and palaeoecology of flysch trace fossils: the Marnoso arenacea formation and associated facies (Miocene, Northern Apennines, Italy). *Beringeria*, **15**:3-115.
- Uchman, A. 1998. Taxonomy and ethology of flysch trace fossils: revision of the Marian Książkiewicz collection and studies of complementary material. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, **68**:105-218.
- Uchman, A. 2001. Eocene flysch trace fossils from the Hecho Group of the Pyrenees, northern Spain. *Beringeria*, **28**:3-41.
- Uchman, A.; Drygant, D; Patzkowski, M.; Porebski, S.J. & Turnau, E. 2004. Early Devonian trace fossils in marine to non-marine redbeds in Podolia, Ukraine: palaeoenvironmental implications: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **214**:67-83.
- Uchman, A.; Abbassi, N. & Naeiji, M. 2005a. *Persichmus* igen. nov. and Associated Ichnofossils From the Upper Cretaceous to Eocene Deep-Sea Deposits of the Sanandaj Area, West Iran. *Ichnos*, **12**:141-149.
- Uchman, A.; Hanken, N. & Binns, R. 2005b. Ordovician Bathyal Trace Fossils From Metasiliciclastics in Central Norway and Their Sedimentological and Paleogeographical Implications. *Ichnos*, **12**:105-133.
- Uchman, A.; Kazakauskas, V. & Gaigalas, A. 2009. Trace fossils from Late Pleistocene varved lacustrine sediments in eastern Lithuania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **272**:199-211.
- Wetzel, A. & Bromley, R.G. 1996. Re-evaluation of the ichnogenus *Helminthopsis* - a new look at type material. *Palaeontology*, **39**:1-19.

6. ANÁLISE PALEOECOLÓGICA E PALEOAMBIENTAL

A icnofauna da Formação Teresina preservada no Cerro Caveiras é dominada por escavações rasas e simples, horizontalizadas em relação ao acamadamento, produzidas na interface entre as camadas arenosas e pelíticas. Escavações de alimentação são as estruturas dominantes. Subordinadamente, ocorrem estruturas de repouso, de moradia, e de deslocamento. Escavações bifurcadas ou com *spreiten*, que sugerem um padrão comportamental mais complexo, são raras. O tamanho das escavações é compatível com a média observada nas descrições dos icnotáxons que serviram de base comparativa nesse estudo. A quantidade e a diversidade da bioturbação são baixas e *Planolites montanus* é o icnotáxon dominante, exibindo padrão uniforme de distribuição ao longo de toda a sucessão.

O padrão da icnofauna e das fácies sedimentares a que está associada evidencia colonização em meio subaquático e a maioria dos icnogêneros presentes comumente são observados em icnofaunas bentônicas marinhas rasas (e.g. Häntzschel, 1975; Pemberton & Frey, 1982; Uchman, 1995, 1998; Schlirf *et al.*, 2001; Sarkar *et al.*, 2009). Escavações horizontais simples são consideradas estruturas temporárias de alimentação de animais detritívoros (e.g. Pemberton & Frey, 1982; Frey & Howard, 1985; Keighley & Pickerill, 1995), sinalizando que os nutrientes estariam concentrados dentro do substrato. Além disso, a escassez de escavações com *spreiten* e a ausência de estruturas com limites reforçados permitem supor um substrato com consistência macia (*softground*) e um ambiente de moderada a baixa energia hidrodinâmica (e.g. Frey *et al.*, 1990; Bromley, 1996; Pemberton *et al.*, 2001; Buatois *et al.*, 2002).

Tal como apontado por Netto (1988, 1992), as características gerais da assembléia icnofossilífera da Formação Teresina no Cerro Caveiras remetem à Icnofácies *Cruziana*. Contudo, observa-se uma significativa baixa icnodiversidade nesses depósitos, se comparadas às ocorrências típicas de Icnofácies *Cruziana* arquetípica. O baixo índice de bioturbação em geral observado também não é compatível com os modelos clássicos para esta icnofácies, que em geral ficam entre 5 e 6, em ambientes marinhos plataformais (e.g. Frey *et al.*, 1990; MacEachern & Pemberton, 1992; Pemberton *et al.*, 1992b; Bromley, 1996; Gibert & Martinell, 1998; Buatois *et al.*, 2002; MacEachern *et al.*, 2007).

Icnofaunas de Icnofácies *Cruziana* empobrecidas tem sido registradas com frequência na literatura icnológica, relacionadas a ambientes sujeitos a estresse por flutuação de salinidade (e.g. Beynon *et al.*, 1988; Beynon & Pemberton, 1992; Neto & Rosseti, 2003; Bann & Fielding, 2004; Carmona *et al.*, 2009). Entre as características fundamentais do modelo

consagrado na literatura para o reconhecimento de icnofaunas de água salobra, destacam-se: (i) suítes com reduzida quantidade e diversidade de icnogêneros, em relação às suítes marinhas semelhantes, (ii) predomínio de estruturas simples de organismos oportunistas, generalistas tróficos, (iii) presença de elementos que registram variações na consistência do substrato, (iv) presença de suítes monoespecíficas, (v) ocorrência de estruturas diminutas, se comparadas às formas do mesmo icnogênero que ocorrem em contexto marinho, e (vi) sucessões mostrando, localmente, altos graus de bioturbação (*e.g.* Beynon *et al.*, 1988; Pemberton & Whightman, 1992; Bann & Fielding, 2004; Buatois *et al.*, 2005, 2007; MacEachern *et al.*, 2007). À exceção das duas últimas características mencionadas, as demais são observadas na icnofauna do Cerro Caveiras, com o agravante de que o índice de bioturbação é ainda mais baixo que o esperado em ambientes mixohalinos típicos, com faunas endêmicas.

Mais recentemente, o impacto causado pela redução extrema de salinidade na distribuição de organismos bentônicos em ambientes deltaicos tem sido abordado em uma série de estudos (*e.g.* Bann & Fielding, 2004; Melchor, 2004; MacEachern *et al.*, 2005; Rossetti & Netto, 2006; Gani *et al.*, 2007; Hansen & MacEachern, 2007; Buatois *et al.*, 2008; Carmona *et al.*, 2009). Segundo MacEachern *et al.* (2005), as respostas típicas do estresse físico-químico associado ao contexto deltaico podem ocorrer em uma variedade de ambientes deposicionais e têm características muito semelhantes às do modelo original de icnofaunas de águas salobras. Contudo, os autores apontam que a diferenciação entre icnofaunas deltaicas e assembléias marginais marinhas não deltaicas pode ser inferida a partir do estresse imposto pelo pronunciado influxo fluvial no regime costeiro. Esse fenômeno traria como resposta icnológica a supressão, ou mesmo o desaparecimento, de estruturas verticais produzidas por suspensívoros, uma vez que o aumento na turbidez da água dificulta o emprego deste hábito trófico. Estruturas verticais não são observadas nos depósitos da Formação Teresina no Cerro Caveiras.

Duas suítes puderam ser diferenciadas na assembléia icnofossilífera do Cerro Caveiras. A primeira e mais diversa é composta por *Bergaueria isp.*, *Diplocraterion isp.*, *Helminthopsis isp.*, *Lockeia siliquaria*, *Multina minima*, *Planolites montanus*, *Palaeophycus striatus*, *P. tubularis*, *Scolicia cf. plana*, *Teichichnus isp.*, *Thalassinoides isp.* e pistas indeterminadas subordinados. Estruturas sugestivas do icnogênero *Helminhoida* foram observadas em campo nessa suíte, mas sua identificação não foi precisa. *P. montanus* e *P. tubularis* são os icnogêneros dominantes nessa suíte e o índice de bioturbação oscila entre 3 e 4. A cerca de 10,70 m da base da sucessão, esta suíte se mostra monoespecífica para *Multina minima*, com

um índice de bioturbação reduzido (BI 2), se comparado ao índice médio da suíte. À exceção de *M. minima*, todos os demais icnogêneros são comumente registrados tanto na Icnofácies *Cruziana* arquetípica, como nas suas variantes empobrecidas, sugerindo colonização em ambientes com domínio de águas salinas. Contudo, o domínio de escavações de alimentação de organismos generalistas tróficos, de icnogêneros *facies crossing* e o índice moderado de bioturbação apontam para predomínio de águas salobras, pelo menos mixohalinas (e.g. Pemberton & Frey, 1982; Netto, 2001; Pemberton *et al.*, 2001; Buatois *et al.*, 2002a, 2007; Netto & Rosseti, 2003; MacEachern *et al.*, 2007; Miller & White, 2007). Esta suíte é bem representada tanto na fácies de heterolitos quanto na fácies de arenitos com HCS e SCS.

A outra suíte é composta por *Cochlichnus anguineus*, *Cruziana problematica*, *Diplopodichmus biformis*, *Helminthopsis* isp., *Palaeophycus striatus*, *Palaeophycus tubularis*, *Planolites beverleyensis*, *Planolites montanus* e pistas de pastagem, preservada predominantemente na fácies de heterolitos e, excepcionalmente, na fácies de arenito fino com laminação cruzada cavalgante. *P. montanus* é o icnogênero dominante, sendo comum sua ocorrência de forma monoespecífica. Apesar da aparente diversidade, os icnotáxons ocorrem de forma isolada, não sendo recorrentes em cada nova expressão da suíte ao longo da sucessão. O índice de bioturbação em geral é baixo, oscilando entre 1 e 3. Icnotáxons tipicamente marinhos estão ausentes e, a aproximadamente 5,60 m da base da sucessão (Figura 4), a suíte é representada por *Cochlichnus anguineus*, *Cruziana problematica* e *Diplopodichmus biformis*, três icnotáxons comumente reportados em ambientes de água doce. Essa ocorrência, aliada à ausência de formas tipicamente marinhas, ao baixo índice de bioturbação e a expressões monoespecíficas de *P. montanus* sugere colonização sob domínio de condições de água doce (no máximo oligohalina) (e.g. Chamberlain, 1975; Eagar *et al.*, 1985; Buatois & Mángano, 1995, 2007; Gluszek, 1995; Miller & White, 2007).

A suíte de água doce marca o primeiro registro da colonização dos substratos na sucessão sedimentar estudada, sendo representada, inicialmente, pela presença monoespecífica de *Palaeophycus tubularis* com índice de bioturbação baixo (Figura 4). Após um período de não bioturbação, a suíte de água doce dá lugar ao estabelecimento da suíte de água salobra, representada por *Bergaueria* isp., *Diplocraterion* isp., *P. tubularis*, *P. montanus*, *Scolicia* cf. *plana*, *Teichichnus* isp. e *Thalassinoides* isp., além de escavações de pastagem indeterminadas. A maior icnodiversidade e o maior índice de bioturbação da icnofauna estudada são observados nesse intervalo (Figura 4, entre 1 e 2 m), sugerindo o estabelecimento de condições menos estressantes para a fauna bentônica local.

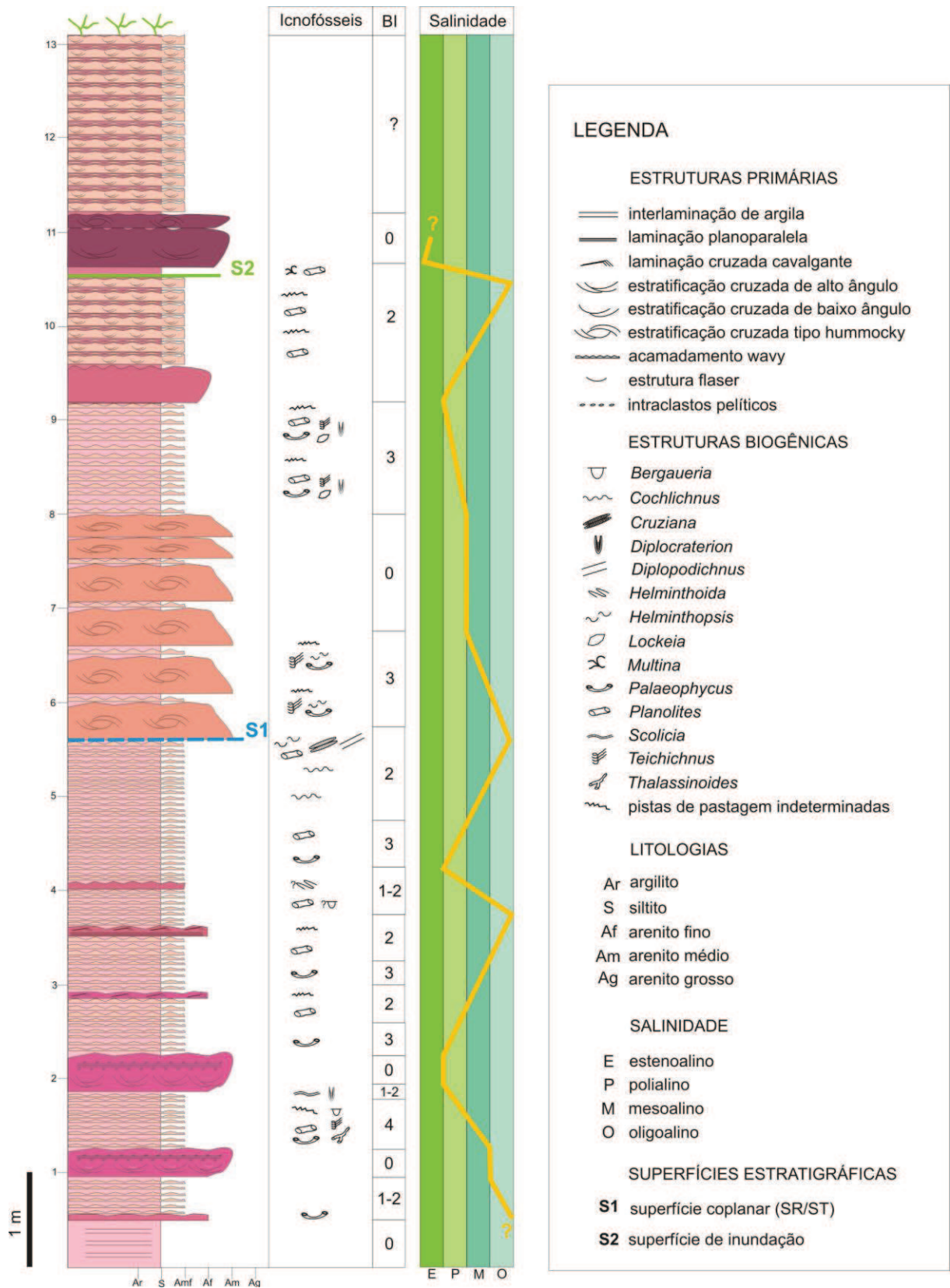


Figura 4. Perfil do afloramento Cerro Caveiras, com as superfícies estratigráficas, a icnofauna e a curva de salinidade reconhecidas.

Em direção ao topo deste nível, a suíte de água salobra dá lugar à suíte de água doce, que domina nos heterolitos, representada apenas por *P. montanus* e *P. tubularis* com índice de bioturbação baixo (Figura 4, entre 2 e 3,5 m, aproximadamente). Escavações de pastoreio indeterminadas ocorrem de forma isolada nas bases das camadas de arenito fino com laminação cruzada cavalgante e complementam as ocorrências dessa suíte nesse intervalo. Entre 3,5 e 4 m, a suíte de água doce é substituída novamente pela suíte de água salobra, dessa vez numa expressão muito empobrecida, representada por estruturas que lembram *Bergaueria* isp. e *Helminthoida alterna*, além de *P. montanus*, e com baixo índice de bioturbação.

A suíte de água doce aparece novamente, acompanhando o retorno da fácies de heterolitos, e caracterizada pela dominância de *P. montanus* e pela ocorrência de *P. tubularis* como icnotáxon acessório, e índice de bioturbação baixo a moderado (BI 3). A cerca de 5 m da base, o índice de bioturbação volta a cair (BI 2) e a suíte de água doce passa a ser representada pela colonização monoespecífica de *Cochlichnus anguineus*, ficando mais diversa para o topo, onde se observa a presença de *C. anguineus*, *Cruziana problematica*, *Diplopodichnus biformis*, *P. montanus* e *Helminthopsis* isp. (Figura 4). Apesar do baixo índice de bioturbação, trata-se da colonização com maior índice de diversidade observada na suíte de água doce em toda a sucessão analisada. A presença de *C. problematica* e *D. biformis* nessa assembléia sugere uma menor espessura da lâmina de água e uma maior proximidade da costa, já que ambos caracterizam o deslocamento de artrópodes habitantes de zonas rasas e sujeitas à exposição temporária. Tais características sugerem que o substrato que abrigou essa colonização apresentava o menor teor de salinidade de toda a sucessão e talvez represente um período de rebaixamento significativo do nível de base.

A entrada da fácies de arenitos com HCS e SCS traz consigo o retorno da suíte de água salobra, representada por *Helminthopsis* isp., *P. tubularis*, *Teichichnus* isp. e pistas de pastagem indeterminadas. A icnofauna deste intervalo sinaliza que os eventos responsáveis pela geração de HCS e SCS ocorreram sob condições de água mais salina, possivelmente, polialina. Não se observa bioturbação na porção superior dos pacotes de arenitos com HCS e SCS. Esses pacotes dão lugar novamente à fácies de heterolitos e a suíte de água salobra se mantém, com mesmo índice de bioturbação, mas com maior diversidade, contendo *Diplocraterion* isp., *Lockeia siliquaria*, *P. tubularis*, *P. montanus*, *Teichichnus* isp. e pistas de pastagem indeterminadas (Figura 4, entre 8 e 9,20 m). Esse pacote culmina com a entrada de um pacote de arenitos finos maciços com topos evidenciando ondulação simétrica (Figura 4). Os depósitos da fácies de heterolitos que se assentam sobre o pacote anterior são marcados pelo aumento na espessura das camadas de arenitos muito finos que os compõem. Esse maior

aporte de arenitos coincide com um empobrecimento na icnofauna, representada por *P. montanus* e pistas de pastagem indeterminadas, e numa redução do índice de bioturbação, caracterizando o retorno da suíte de água doce. A 10,5 m da base, contudo, essa suíte é substituída por uma colonização pontual de *Multina minima*, com *P. montanus* como icnotáxon acessório. *M. minima* e *P. montanus* ocorrem preservados na base de arenitos médios com estratificação cruzada de alto ângulo, mas parecem ter colonizado a camada pelítica maciça sotoposta. A presença de *M. minima* indica o retorno de condições mais salinas e seu forte vínculo com a Icnofácies *Nereites* sugere domínio de águas polialinas. Marca, também, o último evento de colonização observado na sucessão do cerro Caveiras.

A composição da icnofauna do Cerro Caveiras, o baixo índice de bioturbação, em geral, o domínio de colonizações empobrecidas e de escavações horizontalizadas, o padrão de distribuição das suítes, alternando-se, mas nunca se sobrepondo (preservação em palimpsesto), e a predominância, nessa distribuição, das diversas expressões da suíte de água doce aproximam-se mais do conjunto de características observadas em ambientes estressados relacionados a depósitos de deltas que aqueles observados em lagunas ou estuários (*e.g.* Bann & Fielding, 2004; MacEachern *et al.*, 2005). De fato, o modelo de icnofaunas de água salobra baseado em paleoicnocenoses estuarinas aponta para uma assembléia composta de uma mistura entre elementos horizontalizados da Icnofácies *Cruziana* e formas verticalizadas da icnofácies *Skolithos*, padrão que claramente não é observado na área de estudo. Contudo, fácies relacionadas a depósitos fluviais ou mesmo fácies clássicas geradas em depósitos deltaicos não são observadas na área de estudo e tampouco foram previamente reconhecidas nos depósitos da Formação Teresina.

A fácies de lamitos, a de arenitos com estratificação cruzada acanalada e a de arenitos com laminação cruzada cavalgante têm ocorrência pontual. O domínio de estruturas geradas pela ação de ondas na fácies de heterolitos – que é a mais representativa de toda a sucessão – e na fácies de arenito com HCS e SCS sugere deposição episódica em ambiente de moderada a baixa energia, abaixo do nível de ação das ondas normais. O padrão do empilhamento da sucessão (Figura 4) e o domínio da ação de ondas são compatíveis com deposição em zona de *shoreface* inferior-transição ao *offshore* (*e.g.* McCubbin, 1982; Bhattacharya & Walker, 1992; Dalrymple, 1992; Walker & Plint, 1992; Reading & Collinson, 1996; Howell & Flint, 2003).

O contexto regional da Formação Teresina aponta para depósitos em um mar epicontinental restrito em fase de colmatação (*e.g.* Rohn, 1989; Lavina, 1991; Milani, 1997; Milani *et al.*, 2007). O padrão grano- e estratocrescente em geral observado na sucessão dos depósitos do Cerro Caveiras sugere ciclos de raseamento (Posamentier & Allen, 1999). Além

disso, a maioria dos ciclos culmina, no topo, com a entrada de depósitos das fácies que sugerem ação de correntes unidirecionais. A presença de arenitos com laminação planoparalela, intraclastos pelíticos, estratificação cruzada acanalada e laminação cruzada cavalgante sugerem aporte de sedimentos por fluxos progracionais. A distribuição espacial das suítes de água doce ao longo da sucessão parece estar fortemente vinculada à entrada destas fácies.

Nesse contexto, poder-se-ia assumir que a sucessão sedimentar exposta no Cerro Caveiras represente deposição inicial em zona de *shoreface* inferior-transição ao *offshore*, mas em condições de lâmina de água mais rasas que o normalmente observado para essa zona, em mares epicontinentais não restritos. O aporte de sedimentos e água doce proveniente do continente afetaria a salinidade nas zonas mais proximais e, por vezes, também nas mais distais. As fácies de arenito com laminação cruzada cavalgante e de arenito com estratificação cruzada acanalada seriam representativas desses eventos. Segundo MacEachern & Pemberton (1992), ambientes plataformais acima do nível de base das ondas de tempestade até logo acima do nível de base das ondas normais (do *shoreface* inferior ao *offshore* inferior) são colonizados por assembleias representativas da Icnofácies *Cruziana*. Embora a associação de fácies exposta no Cerro Caveiras seja característica do *shoreface* inferior, a assinatura icnológica dos depósitos do Cerro Caveiras sinaliza uma variação na taxa de salinidade da água mais extrema que aquela normalmente observada em contexto de *shoreface* inferior, em mares não restritos.

Variações extremas de salinidade são um dos principais fatores de estresse ambiental para faunas bentônicas (Figura 5), reduzindo drasticamente a diversidade e o número de indivíduos por população (e.g. Beynon *et al.*, 1988; Pemberton & Whightman, 1992; Netto, 2001; Buatois *et al.*, 2007; MacEachern *et al.*, 2007). Estudos sobre o reflexo das flutuações de salinidade na distribuição da icnofauna foram desenvolvidos inicialmente em estuários, visando auxiliar na diferenciação entre depósitos marginais marinhos (tais como sucessões de *crevasse splay*, estuarinas e flúvio-estuarinas) e depósitos de *shoreface* e *offshore* clássicos (e.g. Beynon *et al.*, 1988; Pemberton & Whightman, 1992; Pemberton *et al.*, 1992a; Buatois *et al.*, 2007; MacEachern *et al.*, 2007). Recentemente, contudo, houve um grande avanço na compreensão do impacto das flutuações extremas de salinidade sobre faunas marinhas bentônicas em depósitos deltaicos ou com influência deltaica (e.g. Bann & Fielding, 2004; Gani *et al.*, 2007; MacEachern *et al.*, 2005; Rossetti & Netto, 2006; Buatois *et al.*, 2008; Carmona *et al.*, 2009). Enquanto que, nas sucessões estuarinas, dominam assembleias típicas de águas mesoalinas, compondo suítes representativas de Icnofácies mista *Skolithos-Cruziana*

e, secundariamente, de Icnofácies *Cruziana* empobrecida (senso Pemberton *et al.*, 2001) com índice de bioturbação moderado (Netto & Rossetti, 2003; Buatois *et al.*, 2005, 2007), as sucessões deltaicas exibem suítes marinhas altamente empobrecidas e a presença significativa de assembleias compostas por icnotáxons altamente oportunistas, que se distribuem amplamente entre depósitos marinhos plataformais e não marinhos, e icnotáxons de água doce, muitas vezes de ocorrência monoespecífica, e índice de bioturbação baixo (Bann & Fielding, 2004; MacEachern *et al.*, 2005; Buatois *et al.*, 2008). Além disso, sequências estuarinas têm padrão retrogradante, o que não é observado na sucessão depositada no Cerro Caveiras, cujo padrão predominante é progradante, o que a aproxima ainda mais de um contexto com influência deltaica (Bhattacharya & Walker, 1992; Reading & Collinson, 1996; Pemberton *et al.*, 2001), embora bacias fluviais não tenham sido observadas.

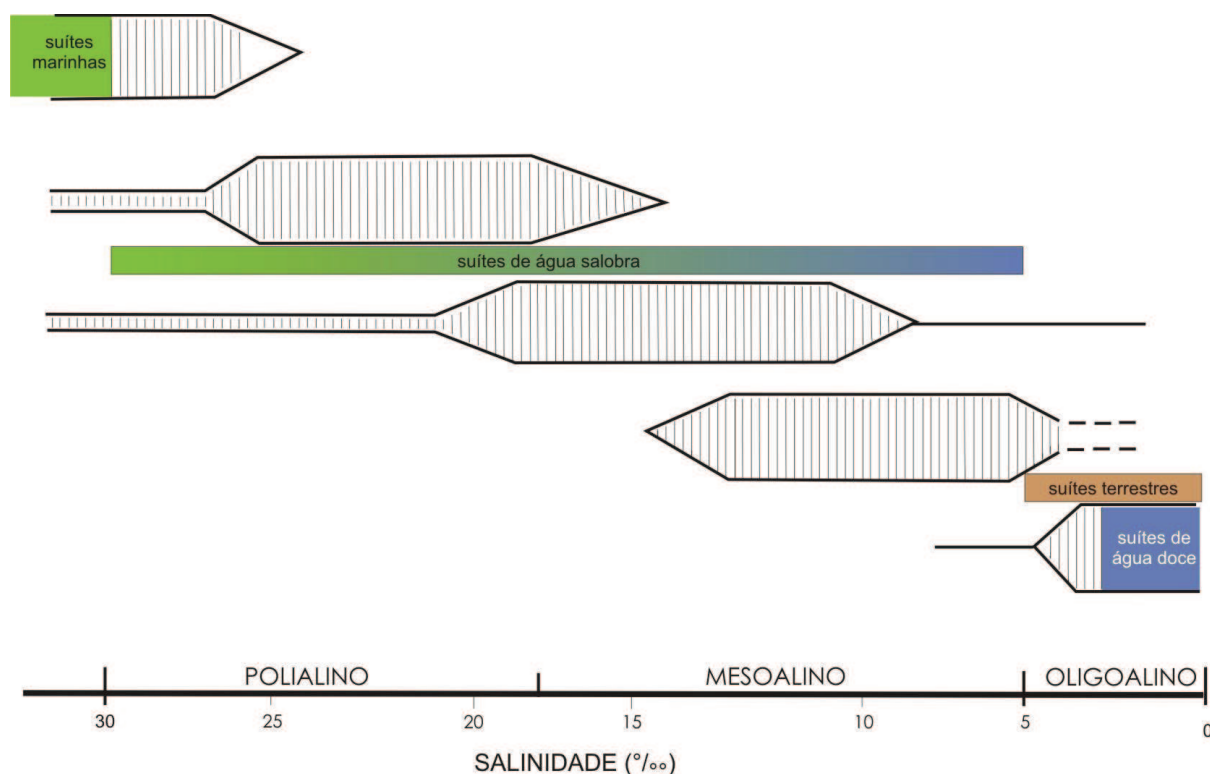


Figura 5. Parâmetros de salinidade em ambientes costeiros e distribuição de suítes de traços fósseis por parâmetro (modificado de Knox, 1986).

Icnofaunas geradas em contexto semelhante ao descrito nesse trabalho foram previamente reportadas na literatura icnológica. Bann & Fielding (2004) descreveram, em depósitos de Queensland (Permiano da Austrália), uma fácies de heterolitos formada por siltitos intercalados a arenitos finos com os acamadamentos lenticular, *wavy* e *flaser* (Fácies E4) cuja bioturbação está esporadicamente distribuída e muitos intervalos não são bioturbados

(BI variando de 0 a 5). Os autores interpretaram esta fácies como o registro de uma frente deltaica distal de um delta dominado por ondas. Os autores também reconheceram uma fácies formada por siltito e argilito, com interlaminações de arenito muito fino a fino com acamadamentos lenticular e *wavy* (Fácies E5) e mesmo padrão de icnofauna, interpretando a assinatura icnológica dessa fácies como representativa de depósitos de prodelta. Hansen & MacEachern (2005), em depósitos da Belly River Formation (Cretáceo do Canadá), descreveram e interpretaram como deposição em prodelta duas fácies heterolíticas dominadas por pelitos com baixa abundância e moderada diversidade de traços fósseis (Fáceis 1a e 2a). Os autores também interpretaram como depósito de frente deltaica distal o conjunto de fácies heterolíticas nas quais um siltito arenoso intercalava-se a um arenito muito fino a fino, com bioturbação de baixa a moderada intensidade e diversidade (Fáceis 1b e 2b). Segundo Hansen & MacEachern (2005), estas duas associações de fácies seriam sugestivas de expressões estressadas da Icnofácies *Cruziana*.

Em estudo realizado em depósitos miocenos da Venezuela, Buatois *et al.* (2008) reconheceram duas fácies heterolíticas compostas por folhelhos com BI 0-2, intercalados a arenitos muito finos a sílticos com BI 0-4, diferindo uma da outra, essencialmente, na espessura dos intervalos de folhelhos, sendo esta menor na fácies interpretada como registro de prodelta proximal em relação à fácies associada a prodelta distal. Os autores também reconheceram uma fácies de arenito síltico fino a grosso com HCS e índice de bioturbação altamente variável (BI 0-5), apontando que esta fácies teria sido depositada em uma zona de frente deltaica distal dominada por ondas. Buatois *et al.* (2008) registraram que, em todas estas fácies, os topos das camadas arenosas eram simétricos ou de morfologia muito próxima a essa e que a Icnofácies *Cruziana* se fazia presente, em diferentes expressões. Carmona *et al.* (2009), ao analisarem a icnologia e sedimentologia da Formação Chenque (Mioceno da Argentina), reconheceram uma associação de fácies típica de prodelta, formada pelas fácies de arenito muito fino com acamadamento lenticular intercalado a pelito (Fácies 1), arenito fino com os acamadamento *wavy* e *flaser* intercalado a pelito (Fácies 2) e arenito pelítico com acamadamento *flaser* e, mais raramente, acamadamento *wavy* (Fácies 3). Nestas fácies, a intensidade de bioturbação é baixa, a distribuição dos traços fósseis é esporádica e dominam estruturas de alimentação de detritívoros indicando, segundo os autores, uma expressão empobrecida da Icnofácies *Cruziana*. Na mesma sucessão, Carmona *et al.* (2009) interpretaram como tendo sido depositada em frente deltaica dominada pela maré uma associação composta pela fácies de arenito com acamadamento *drape* (Fácies 4) e pela fácies de arenito com estratificação cruzada sigmoidal (Fácies 5). A intensidade de bioturbação

continua baixa nesta associação, dominada pelos mesmos grupos etológicos da associação de prodelta.

Nestes estudos, os autores fazem referência à presença de gretas de sinerese e as apontam como um dos critérios para o reconhecimento de depósitos deltaicos. Gretas de sinerese são estruturas sedimentares que refletem a contração de argilas em meios subaquáticos, causada, na maior parte das vezes, pela perda da água intersticial doce para as camadas mais superiores do corpo de água quando da entrada de um fluxo de maior densidade. Gretas de sinerese não foram observadas no Cerro Caveiras, o que reforça a idéia de que os depósitos se formaram em um meio que dispunha, originalmente, de água salgada, e que experimentava a diluição de seus componentes químicos ao receber aportes eventuais de água doce.

Evidências de variações na salinidade da água nos depósitos que caracterizam a Formação Teresina foram também sinalizadas em estudos prévios. Lavina (1991) resumizou diversos trabalhos que procuraram explicar, a partir de variações de salinidade, a extinção da fauna de *Pinzonella* ao término da Formação Teresina, o registro de variáveis teores de boro em sedimentos desta formação e a presença de extensos níveis de corrensitita associados aos calcários oolíticos da Formação Teresina. De acordo com Rohn (1994), substituições malacofaunísticas relativamente abruptas observadas em depósitos do Grupo Passa Dois (onde se inserem os depósitos da Formação Teresina) em São Paulo (SP) estariam relacionadas a variações do nível de base da bacia, da salinidade de suas águas e às oscilações climáticas experimentadas pelo Gondwana ao final do Paleozóico. Segundo a autora, a instalação de condições batimétricas cada vez mais rasas durante a primeira fase regressiva e a conseqüente redução dos ecoespaços ao final desta fase levou à criação de novos nichos e à substituição da fauna da Zona de *Pinzonella neotropica* (marinha a salobra) pela Assembleia *Lenzia similis* (água doce), no topo da sucessão. Rohn (1995, 2001) também apontou fases de maior salinidade e condições climáticas quentes e secas como responsáveis pela origem dos depósitos de calcarenitos oolíticos em sucessões equivalentes à Formação Teresina nos estados de São Paulo e Paraná. Richter (2005) concluiu que os peixes (actinoptérigeos, condrites e possivelmente sarcopterígeos) cujos restos são preservados nos arenitos com HCS nos depósitos da Formação Teresina aflorantes em Tiarajú (São Gabriel, RS) vivam, originalmente, em ambientes altamente influenciados por água doce. Evidências geoquímicas de variação na salinidade das águas durante a deposição da Formação Teresina e presença de faunas de invertebrados de origem marinha e não marinha também foram reconhecidas nos depósitos da Formação Teresina (Richter, 2005).

À exceção de *Cruziana problematica* e *Diplopodichnus biformis*, os demais icnotáxons presentes na sucessão sedimentar exposta no Cerro Caveiras são comuns em depósitos marinhos. A maioria é componente da Icnofácies *Cruziana* e possui ampla distribuição faciológica e areal (icnotáxons *facies-crossing*), caracterizando produtores de hábitos oportunistas. Dois icnotáxons, contudo, são uma exceção a essa regra: *Multina minima* e *Helminthoida alterna*. Ambos são comuns em depósitos de *flysch* (e.g. Uchman, 2001; Rodríguez-Tovar *et al.*, 2010), fazendo parte de associações que caracterizam a Icnofácies *Nereites*, que é exclusivamente marinha, típica de depósitos bacinais e dominada por icnotáxons de padrões comportamentais complexos (formas grafogliptídeas) (e.g. Frey *et al.*, 1990; Pemberton *et al.*, 1992b; Bromley, 1996; Gibert & Martinell, 1998; Buatois *et al.*, 2002; MacEachern *et al.*, 2007). Devido a essa complexidade, a maioria dos icnotáxons que compõem a Icnofácies *Nereites* representa atividade de organismos de hábitos muito especializados (organismos *k-selected*, Ricklefs, 1993). Contudo, alguns icnogêneros comumente observados nesta icnofácies, como *Nereites* e *Helminthoida*, por exemplo, ocorrem também em associações mais rasas (e.g. Lermen, 2006), evidenciando comportamento *facies-crossing* e hábito oportunista (*r-selected*, Ricklefs, 1993).

Multina caracteriza uma das formas mais simples de grafogliptídeos, possivelmente precursora das formas mais complexas. Comum no Paleozóico, *Multina* ocorre em depósitos marinhos rasos no Cambriano, passando a ocorrer em depósitos marinhos profundos a partir do Tremadociano (Buatois *et al.*, 2009). Contudo, padrões morfológicos próprios de icnotáxons colonizadores iniciais de depósitos marinhos profundos – dentre eles, padrões semelhantes a *Multina* – foram observados também na colonização inicial de ecoespaços lacustres. Isso sugere que o padrão de *Multina* possa representar uma estratégia oportunista dentre as formas grafogliptídeas da Icnofácies *Nereites*, ampliando sua distribuição para depósitos mais rasos. A ocorrência pontual de *M. minima* e *P. montanus* na fácies de lamito no topo da sucessão do Cerro Caveiras sugere o estabelecimento de uma maior profundidade da lâmina de água, podendo caracterizar uma expressão mais distal da Icnofácies *Cruziana*, significativamente empobrecida (BI 2), e uma colonização em zona de *offshore*. Essa colonização sucede depósitos da fácies de heterolitos com ocorrência da suíte de água doce, sugerindo um aumento na espessura da lâmina de água e uma maior salinidade da água, com o estabelecimento de condições marinhas estenoalinas.

As evidências de estresse extremo por flutuação de salinidade e demais características observadas na icnofauna da sucessão sedimentar da Formação Teresina no Cerro Caveiras e a tendência de raseamento indicada pelas fácies sedimentares sugerem domínio de depósitos

progradantes, possivelmente relacionados a deltas. O claro domínio da ação de ondas, a ausência de gretas de sinerese, a presença da suíte de água salobra na base de cada ciclo deposicional e a ocorrência pontual de *M. minima* sugerem que esses deltas se desenvolviam em ambiente marinho raso, restrito, em zona de *shoreface* inferior-transição ao *offshore*. Com base nessas características, assume-se que a sucessão sedimentar da Formação Teresina no Cerro Caveiras represente depósitos de frentes deltaicas distais retrabalhados pela ação das ondas.

7. ASSINATURAS ICNOLÓGICAS E ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

A alternância entre suítes de traços fósseis representativas de assembleias de Icnofácies *Cruziana* empobrecida, própria de condições de água salobra, e de assembleias pobremente bioturbadas, dominadas por *P. montanus*, sugestiva do domínio de condições de água doce é a principal assinatura icnológica observada na sucessão sedimentar da Formação Teresina exposta no Cerro Caveiras. A substituição da suíte de água salobra pela suíte de água doce e a manutenção desta por mais tempo ao longo da sucessão é uma característica forte no Cerro Caveiras e uma assinatura da entrada de depósitos deltaicos em ambientes marinhos rasos, marcada pelo domínio inicial de água marinha e pela paulatina redução da salinidade pelo aporte de água doce, a partir do continente. Esse contexto pode ser interpretado como deposição durante progradação de trato de mar alto.

A presença de formas essencialmente não marinhas, como *C. problematica* e *D. biformis* na suíte de água doce, a 5,60 m da base da sucessão, marca o período de maior influência de água doce e de menor espessura da lâmina de água em toda a sucessão. Evidências de exposição não foram observadas, mas a atribuição de ambos os icnotáxons à atividade de miriápodes (Keighley & Pickerill, 1996) sugere condições de lâmina de água muito pequena. O padrão da suíte pode ser comparado ao de assembleias mistas de Icnofácies *Mermia* e *Scoyenia*, comuns em depósitos marginais lacustres, deltaicos e de planícies de inundação (e.g. Buatois *et al.*, 1997; Buatois & Mángano, 2002; Netto *et al.*, 2009), e sugere um evento regressivo significativo (rebaixamento do nível de base), com a quase exposição dos substratos. A entrada de pacotes amalgamados de arenitos com HCS e SCS por sobre essa suíte, intercalados a heterolitos com escavações da suíte de água salobra, mostra um aumento significativo na espessura da lâmina de água e uma mudança no padrão de sedimentação, de progradacional para retrogradacional. A mudança brusca no padrão de colonização observado nesse intervalo potencializa a hipótese de existir, a 5,70 m da base da sucessão, uma superfície coplanar (S1, Figura 4) reunindo pelo menos uma superfície de erosão regressiva e a superfície transgressiva que marca a base da primeira camada de arenito com HCS e SCS, o que caracterizaria um limite de sequência. Nessa situação, a suíte de água doce contendo *C. problematica* e *D. biformis* representa a suíte de pré-omissão, enquanto que a suíte de água salobra sobreposta caracteriza a suíte de pós-omissão (Pemberton *et al.*, 2001). Assim, a S1 marcaria o limite de sequência relacionado ao fim da progradação em trato de mar alto (sugerido pelos eventos de raseamento observados na metade inferior da sucessão) e o

estabelecimento do trato de sistema transgressivo da sequência superior, a partir da criação de maior espaço de acomodação.

A manutenção de colonização pela suíte de água salobra enquanto há domínio dos arenitos com HCS e SCS, e nos depósitos heterolíticos que os sucedem é um forte indício da manutenção da tendência transgressiva estabelecida a partir da S1. A entrada de arenitos da fácies de arenitos com laminação cruzada cavalgante a 9,20 m, contudo, marca uma nova mudança na colonização do substrato e o estabelecimento da suíte de água doce, em caráter bastante empobrecido. Essa mudança, ocorrida após a entrada de depósitos sugestivos de ação de correntes unidirecionais, aliada à maior espessura das camadas arenosas dos depósitos heterolíticos, sugere maior aporte de sedimentos vindos do continente e maior estresse por flutuação extrema de salinidade, numa clara assinatura de influência deltaica, mas ainda em trato de sistema transgressivo.

A colonização pontual por *M. minima* marca um novo e, possivelmente, o mais significativo evento de inundação de toda a sucessão. Por ser uma forma grafogliptídea primitiva e compor normalmente assembleias de Icnofácies *Nereites*, a presença de *M. minima* encerra em si a expressão mais distal e mais marinha observada nos depósitos aflorantes no Cerro Caveiras. A maior espessura dos pelitos ao qual aparece vinculada é compatível com o estabelecimento de condições mais profundas. Assim, a presença de *M. minima* nesse intervalo sugere a existência de uma superfície de inundação com manutenção das condições mais profundas e mais salinas por mais tempo a 10,60 m da base da sucessão (S2), representando a máxima inundação observada na área de estudo (Figura 4).

A partir desse intervalo, a bioturbação não é mais observada, podendo estar ausente. Contudo, a entrada de pacotes amalgamados de arenitos com HCS e SCS após o estabelecimento da S2, capeados por depósitos heterolíticos com estruturas geradas pela ação de ondas sugere deposição em ambiente marinho, possivelmente ainda na zona de *shoreface* inferior, mas talvez já relacionada à progradação do trato de mar alto.

Vários autores interpretaram os depósitos da Formação Teresina como formados em um mar epicontinental restrito, em processo de colmatação, em uma bacia rasa, extensa, aplainada e estável (Lavina, 1991; Rohn, 1989, 1994, 1995, 2001; Klein *et al.*, 1999), mas discordando a cerca de seu preenchimento (se por depósitos de marés, marinhos rasos ou deltas dominados por marés – Gama Jr., 1979; Netto 1988, 1992; Rohn 1989) e da existência ou não de comunicação desse “lago-mar” (senso Rohn, 1994) com o oceano. As fácies sedimentares em geral reconhecidas na Formação Teresina invocam claramente um ambiente dominado pela ação de ondas. Netto (1988, 1992), analisando a icnofauna desses depósitos, a interpretou

como pertencente à Icnofácies *Cruziana*, gerada em ambientes marinhos rasos, dominados por ondas e marés, mas remarcando, de forma indireta, sua baixa icnodiversidade, atribuindo-a a uma possível redução na salinidade da água, como consequência do caráter regressivo da sucessão. Tal como sugerido originalmente por Netto (1988, 1992), as assinaturas icnológicas observadas na sucessão exposta no Cerro Caveiras apontam para colonização em ambiente marinho raso e mostra baixa icnodiversidade. Contudo, a pobreza na diversidade de traços fósseis é decorrente de flutuações extremas na salinidade da água e do estabelecimento de longos períodos de domínio de água doce, critérios atualmente reconhecidos em depósitos deltaicos em zonas marinhas.

Gama Jr. (1979) interpretou as fácies pelíticas da Formação Teresina como representativas de deposição em prodelta e da entrada dos primeiros sedimentos terrígenos introduzidos na bacia, e as fácies de arenitos do topo da sucessão (à época identificados como Membro Serrinha da Formação Rio do Rastro, sobreposta), a depósitos de frente deltaica, retrabalhados por ondas e por correntes de marés. A paisagem geomorfológica seria dominada por subsidência lenta e generalizada, em contraste com o elevado suprimento de materiais terrígenos, resultando num empilhamento progradacional. Mesmo sendo lenta, períodos de subsidência e de criação de maior espaço deposicional ocorriam, tal como é sinalizado pelas S1 e S2 na sucessão do Cerro Caveiras. O aumento na salinidade da água após esses eventos suporta a idéia de existência, ainda que efêmera, de algum tipo de comunicação desse mar com o oceano.

As flutuações de salinidade observadas por várias vias na Formação Teresina (camadas de calcário oolítico, estruturas *cone-in-cone*, septárias e fendas de ressecamento) foram atribuídas, pela maioria dos autores, a oscilações entre períodos de predominância de climas secos, onde haveria maior concentração da salinidade nesse mar restrito, devido à maior taxa de evaporação, e de climas úmidos, onde maiores índices de pluviosidade proveriam grandes volumes de água doce e consequente redução na salinidade da água (e.g. Mendes, 1961; Figueiredo Filho, 1972; Schneider *et al.*, 1974; Rohn, 1989, 1994, 1995, 2001; Lavina, 1991; Klein *et al.*, 1999). Apesar de não terem sido observadas na sucessão sedimentar do Cerro Caveiras, Klein *et al.* (1999) reconheceram o estabelecimento de condições de aridez nos depósitos do topo da Formação Teresina na sucessão sedimentar de Tiarajú (São Gabriel, RS). Estas condições foram interpretadas como resultantes de um evento de regressão forçada, que dá lugar à condições de total continentalização no topo da sucessão, na transição com a Formação Rio do Rastro.

As curvas climáticas globais para o limite Permo-Triássico mostram os primeiros sinais de aridização que assolou o Gondwana durante quase todo o Mesozóico, não permitindo descartar essa hipótese. Contudo, as assinaturas icnológicas presentes na sucessão do Cerro Caveiras não são suficientemente diagnósticas de oscilações climáticas e, na ausência das feições sedimentares típicas de aridização, a hipótese de que o aporte de água doce deve-se a influência deltaica parece mais plausível.

8. CONCLUSÕES

A análise icnológica realizada na sucessão sedimentar que engloba os depósitos da Formação Teresina aflorantes no Cerro Caveiras (Dom Pedrito, RS) permitiu concluir que:

(i) a assembléia icnofossilífera da Formação Teresina no Cerro Caveiras se organiza em duas suítes principais, uma indicativa de colonização de água salobra (preferencialmente mesoalina) e outra de colonização em ambiente fortemente influenciado por água doce (oligoalina).

(ii) a alternância das duas suítes ao longo da sucessão, e a substituição da suíte de água salobra pela suíte de água doce e sua manutenção por mais tempo ao longo da sucessão é a principal assinatura icnológica observada na sucessão sedimentar da Formação Teresina exposta no Cerro Caveiras e sugere a entrada de depósitos deltaicos nos ambientes marinhos rasos característicos da Formação Teresina na área de estudo;

(iii) a icnofauna representa, de forma geral, uma expressão embobrecida da Icnofácies *Cruziana*, com ocorrência pontual de suíte sugestiva da Icnofácies mista *Mermia-Scoyenia*;

(iv) apesar de demarcadas, até o momento, apenas na área de estudo, as superfícies S1 e S2 sugeridas pela icnofauna talvez possam ter expressão pelo menos local/regional, contribuindo assim para o refinamento do arcabouço estratigráfico da Formação Teresina na borda sul da bacia do Paraná.

9. REFERÊNCIAS

Balistieri, P. & Netto, R.G. 2002. A Glossifungites suite in deposits of the Itararé Group (Upper Carboniferous-Lower Permian of Paraná Basin) at Mafra region, North of Santa Catarina State, Brazil: Ichnotaxonomy and paleoecological and stratigraphical constraints. *Acta Geologica Leopoldensia*, **25**:91-106.

Balistieri, P.; Netto, R.G. & Lavina, E.L.C. 2003. Icnofauna de ritmitos do topo da Formação Mafra (Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná) em Rio Negro, Estado do Paraná (PR), Brasil. *Asociación Paleontológica Argentina Publicación Especial*, **9**:131-139.

Bann, K.L. & Fielding, C.R. 2004. An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia. In: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. The Geological Society of London, Special Publication 228, p. 273-310.

Beurlen, K. 1957. Faunas salobras fósseis e o tipo paleogeográfico das faunas gondwânicas do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **29**(2):229-241.

Beynon, B.M. & Pemberton, S.G. 1992. Ichnological signature of a brackish water deposit: an example from the Lower Cretaceous Grand Rapids Formation, Cold Lake oil sands area, Alberta. In: S.G. Pemberton (ed.) *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration - A Core Workshop*: SEPM, Core Workshop 17, p. 191-221.

Beynon, B.M.; Pemberton, S.G.; Bell, D.A. & Logan, C.A. 1988. Environmental implications of ichnofossils from the Lower Cretaceous Grand Rapids Formation, Cold Lake oil sands deposit. In: D.P. James & D.A. Leckie (eds.) *Sequences, Stratigraphy, Sedimentology, Surface and Subsurface*: Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 15, p. 275-290.

Bhattacharya, J.P. & Walker, R.G. 1992. Deltas. In: R.G. Walker & N.P. James (eds.) *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada, p. 157-177.

- Bhattacharya, J.P. & Giosan, L. 2003. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. *Sedimentology*, **50**:187–210.
- Bromley, R.G. 1990. *Trace fossils. Biology and taphonomy*. Unwin Hyman, London, 280 p.
- Bromley, R.G. 1996. *Trace fossils - biology, taphonomy and applications*. 2^a ed., Chapman and Hall, London, 361 p.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 1993. Trace fossils from a Carboniferous turbiditic lake: Implications for the recognition of additional nonmarine ichnofacies. *Ichnos*, **2**:237-258.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 1995. The paleoenvironmental and paleoecological significance of the lacustrine Mermia ichnofacies: an archetypical subaqueous nonmarine trace fossil assemblage. *Ichnos*, **4**:151-161.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 2002. Trace fossils from Carboniferous floodplain deposits in western Argentina: implications for ichnofacies models of continental environments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **183**:71-86.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 2004. Animal-substrate interactions in freshwater environments: applications of ichnology in facies and sequence stratigraphic analysis of fluvio-lacustrine successions. In: D. McIlroy (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. The Geological Society of London, Special Publication 228, p. 157-178.
- Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 2007. Invertebrate Ichnology of Continental Freshwater Environments. In: W. Miller, III (ed.) *Trace fossils concepts, problems, prospects*. Geology Department Humboldt State University Arcata, CA, USA, p. 285-323.
- Buatois, L.A.; Jalfin, G. & Aceñolaza, F.G. 1997. Permian nonmarine invertebrate trace fossils from Southern Patagonia, Argentina: Ichnologic signatures of substrate consolidation and colonization sequences. *Journal of Paleontology*, **71**:323-336.

Buatois, L.A.; Netto, R.G. & Mángano, M.G. 2001a. Reinterpretación paleoambiental de la Formación Rio Bonito (Pérmico de la Cuenca de Paraná, Brasil) en la región del yacimiento de carbón del Iruí, Cachoeira do Sul, RS: integración de análisis de facies, icnología y estratigrafía secuencial de alta resolución. *Geogaceta*, **29**:27-30.

Buatois, L.A.; Netto, R.G. & Mángano, M.G. 2001b. Paleoenvironmental and sequence-stratigraphic analysis of Lower Permian marginal- to shallow-marine coal-bearing successions of the Paraná Basin in Rio Grande do Sul, Brazil, based on ichnological data. *Ciência-Técnica-Petróleo, Seção Exploração de Petróleo*, **20**:171-176.

Buatois, L.A.; Mángano, M.G. & Aceñolaza, F.G. 2002. *Trazas Fósiles: Señales de comportamiento en el Registro Estratigráfico*. Edición Especial MEF N°2. Chubut, Arsa Gráfica, 382 p.

Buatois, L.A.; Gingras, M.K.; MacEachern, J.A.; Mángano, M.G.; Zonneveld, J.P.; Pemberton, S.G.; Netto, R.G. & Martin, A. 2005. Colonization of brackish-water systems through time: evidence from the trace-fossil record. *Palaios*, **20**:321-347.

Buatois, L.A.; Netto, R.G. & Mángano, M.G. 2007. Ichnology of Permian marginal- to shallow-marine coal-bearing successions: Rio Bonito and Palermo Formations, Paraná Basin, Brazil. In: J.A. MacEachern, K.L. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:167-177.

Buatois, L.A.; Santiago, N.; Parra, K. & Steel, R. 2008. Animal–substrate interactions in an early miocene wave-dominated tropical delta: delineating environmental stresses and depositional dynamics (Tácata Field, Eastern Venezuela). *Journal of Sedimentary Research*, **78**:458–479.

Buatois, L. A.; Mángano, M. G.; Brussa, E. D.; Benedetto, J. L. & Pompei, J. F. 2009. The changing face of the deep: Colonization of the Early Ordovician deep-sea floor, Puna, northwest Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **280**:291-299.

Carmona, N.B.; Buatois, L.A.; Ponce, J.J. & Mángano, M.G. 2009. Ichnology and sedimentology of a tide-influenced delta, Lower Miocene Chenque Formation, Patagonia,

Argentina: Trace-fossil distribution and response to environmental stresses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **273**:75-86.

Chamberlain, C.K., 1975. Recent lebensspuren in nonmarine aquatic sediments. *In*: R.W. Frey, (ed.): *The Study of Trace Fossils*. Springer-Verlag, New York, pp. 431–458.

Cheel, R.J. 2005. *Introduction to Clastic Sedimentology*. Brock University, St, Catharines, Ontario, Canadá, 129 p.

Dalrymple, R.W. 1992. Tidal depositional systems. *In*: R.G. Walker & N.P. James (eds.) *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada, Ontario, 195-218.

Eagar, R.M.C.; Baines, J.G.; Collinson, J.D.; Hardy, P.G.; Okolo, S.A. & Pollard, J.E. 1985. Trace fossil assemblages and their occurrence in Silesian (Mid-Carboniferous) deltaic sediments of the Central Pennine Basin — England. *In*: H.A. Curran (ed.) *Biogenic Structures: their Use in Interpreting Depositional Environments*, S.E.P.M. Special Publication 35, p. 99-150.

Elias, A.R.D.; Garcia, A.J.V. & Lavina, E.L. 2000. Arcabouço cronoestratigráfico da bacia do Paraná na região centro-oeste do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, **27**(2):31-44.

Fanton, J.C.M.; Ricardi-Branco, F.S.; Torres-De-Ricardi, M. & Rohn, R. 2006. Reinvestigação da conífera permiana *Krauselcladus*: novas interpretações morfológicas e anatômicas. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. **9**, p. 221-234, 2006.

Figueiredo Filho, P.M. 1972. A faciologia do Grupo Passa Dois no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, **2**(4):216-35.

Frey, R.W. 1990. Trace Fossils and Hummocky Cross-Stratification, Upper Cretaceous of Utah. *Palaios*, **5**:203-218.

- Frey, R.W. & Howard, J.D. 1985. Trace fossils from the Panter Member, Star Point Formation (Upper Cretaceous), Coal Creek Canyon, Utah. *Journal of Paleontology*, **59**:370-404.
- Frey, R.W.; Pemberton, S.G. & Saunders, T.D.A. 1990. Ichnofacies and bathymetry: a passive relationship. *Journal of Paleontology*, **64**:155-158.
- Gama Jr., E. 1979. Sedimentação do Grupo Passa Dois (inclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. *Revista Brasileira de Geociências*, **9**(1):1-16.
- Gani, M.R.; Bhattacharya, J.P. & MacEachern, J.A., 2007. Using ichnology to determine relative influence of waves, storms, tides and rivers in deltaic deposits: examples from Cretaceous delta complexes in the Western Interior Seaway, Wyoming - Utah, USA. In: J.A. MacEachern, K.L. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:209-225.
- Gibert, J.M. & Martinell, J. 1998. El modelo de icnofacies, 30 años después. *Revista española de paleontología*, **13**:167-174.
- Gibert, J.M. de; Frenegal-Martínez, M.A.; Buatois, L.A. & Mángano, M.G. 2000. Trace fossils and their palaeoecological significance in Lower Cretaceous lacustrine conservation deposits, El Montsec, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **156**:89-101.
- Gluszek, A. 1995. Invertebrate trace fossils in the continental deposits of an Upper Carboniferous coal-bearing succession, Upper Silesia, Poland. *Studia Geologica Polonica*, **108**:171-202.
- Greenwood, B. 2006. Bimodal cross-lamination in wave-ripple form sets: a possible origin. *Journal of Coastal Research*, **22**:1220-1229.
- Häntzschel, W. 1975. *Treatise on invertebrate Paleontology. Part W, Miscellanea, supplement 1, Trace fossils and problematica*. University of Kansas and Geological Society of America, Kansas, 269 p.

Hansen, C.D. & MacEachern, J.A. 2007. Application of the asymmetric delta model to along-strike facies variations in a mixed wave- and river-influenced delta lobe, Upper Cretaceous Basal Belly River Formation, Central Alberta. *In*: J.A. MacEachern, K.L. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:1-16.

Hawley, N. 1981. Flume experiments on the origin of flaser bedding. *Sedimentology*, **28**:699-712.

Hill, P.R.; Meulé, S. & Longuépée, H. 2003. Combined-Flow Processes and Sedimentary Structures on the Shoreface of the Wave-Dominated Grande-Rivière-de-la-Baleine Delta. *Journal of Sedimentary Research*, **73**(2):217-226

Howel, J.A. & Flint, S.S. 2003. Siliciclastic case study: the Book Cliffs. *In*: A.L. Coe (ed.) *The Sedimentary Record of Sea-Level Change*: Cambridge University Press, p. 135-157.

Keighley, D.G. & Pickerill, R.K. 1995. The ichnotaxa *Palaeophycus* and *Planolites*: historical perspectives and recommendations. *Ichnos*, **3**:301-309.

Keighley, D.G. & Pickerill, R.K. 1996. Small *Cruziana*, *Rusophycus*, and related ichnotaxa from eastern Canada: the nomenclatural debate and systematic ichnology. *Ichnos*, **4**:261-285.

Klein, C.; Leipnitz, I.I. & Nowatzki, C.H. 1999. Fácies sedimentares e observações bioestratinômicas das concentrações fóssilíferas da Formação Teresina na região de Tiaraju, RS, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, **49**:75-92.

Knox, G.A. 1986. *Estuarine ecosystems: a systems approach*. CRC Press, v.1, 289 p.

Lavina, E.L. 1991. *Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 333 p.

Lermen, R.E. 2006. *Assinaturas icnológicas em depósitos glaciogênicos do Grupo Itararé no RS*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Dissertação de Mestrado, 84 p.

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*: S.G. Pemberton (ed.): *Applications of ichnology to petroleum exploration – A core workshop*. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Core Workshop **17**:57-84.

MacEachern, J.A.; Bann, K.L.; Bhattacharya, J.P. & Howell, C.D. 2005. Ichnology of deltas, organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves, storms, and tides. *In*: L. Giosan & J.P. Bhattacharya (eds.) *River Deltas: Concepts, Models and Examples*. SEPM, Special Publication 83, p. 49-85.

MacEachern, J.A., Pemberton, S.G., Bann, K.L. & Gingras, M.K. 2007. Departures from the archetypal ichnofacies: effective recognition of physic-chemical stresses in the rock record. *In*: J.A. MacEachern, K.L. Bann, M.K. Gingras & S.G. Pemberton (eds.) *Applied Ichnology*, SEPM, Short Course Notes, **52**:65-93.

Martin, K.D. 2004. A re-evaluation of the relationship between trace fossils and dysoxia. *In* D. McIlroy (ed.): *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*: Geological Society, London, Special Publication, no. **228**:141–156.

McCubbin, D.G. 1982. Barrier-island and strand-plain facies. *In*: P.A. Scholle & D. Spearing (eds.): *Sandstone depositional environments*. Memoir, American Association of Petroleum Geologists, **31**:247-279.

Melchor, R.N. 2004. Trace fossil distribution in lacustrine deltas: examples from the Triassic rift lakes of the Ischigualasto-Villa Union basin, Argentina. *In* D. McIlroy (ed.): *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*: Geological Society, London, Special Publication, no. **228**:335-354.

Mendes, J.C. 1961. Algumas considerações sobre a estratigrafia da Bacia do Paraná. *Boletim Paranaense de Geografia*, **5**:3-19.

Milani, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 228 p.

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

Miller, M.F. & White, D.S. 2007. Ecological and Evolutionary Controls on the Composition of Marine and Lake Ichnofacies. In: W. Miller, III (ed.) *Trace fossils concepts, problems, prospects*. Geology Department Humboldt State University Arcata, CA, USA, p. 531-544.

Netto, R.G. 1988. *Paleoicnologia dos sedimentitos basais da Formação Rio do Rasto no Estado do Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 92 p.

Netto, R.G. 1992. Paleoecology of ichnocoenoses in the *Cruziana* ichnofacies, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, (Upper Permian) from the Parana Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Geologica Leopoldensia*, **36**:67-82.

Netto, R.G. 2001. Icnologia e estratigrafia de seqüências. In: H.J.P. Severiano Ribeiro (ed.): *Estratigrafia de seqüências - fundamentos e aplicações*, Ed. UNISINOS, São Leopoldo, RS, p. 219-259.

Netto, R.G. & Rossetti, D.F. 2003. Ichnology and salinity fluctuations: A case study from the Early Miocene (Lower Barreiras Formation) of São Luís Basin, Maranhão, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **6**:5-18.

Netto, R.G.; Balistieri, P.R.M.N.; Lavina, E.L.C. & Silveira, D.M. 2009. Ichnological signatures of shallow freshwater lakes in the glacial Itararé Group (Mafra Formation, Upper Carboniferous–Lower Permian of Paraná Basin, S Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **272**:240-255.

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

Pemberton, S.G. & Wightman, D.M. 1992. Ichnological characteristics of brackish water deposits. In: S.G. Pemberton (ed.): *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration - A Core Workshop*: SEPM, Core Workshop 17, p. 141–167.

Pemberton, S.G.; Van Wagoner, J.C. & Wach, G.D. 1992a. Ichnofacies of a Wave-Dominated Shoreline. In: S.G. Pemberton (ed.): *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration - A Core Workshop*: SEPM, Core Workshop 17, p. 339-382

Pemberton, S.G.; Maceachern, J.A. & Frey, R.W. 1992b. Trace fossil facies models: Environmental and allostratigraphic significance. In: R.G. Walker & N.P. James (eds.), *Facies models response to sea level changes*. Geological Association of Canada, p. 47-72.

Pemberton, S.G.; Spila, M.; Pulham, A.J.; Saunders, T.; Robbins, D. & Sinclair, I.K. 2001. *Ichnology and sedimentology of shallow to marginal marine systems*. Calgary, Geological Association of Canada Short Course, v. 15, 343 p.

Posamentier, H. W. & Allen, G. P. 1999. *Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications*. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology n° 7, 210 p.

Raaf, J.F.M.de; Boersma, J.R. & Van Gelder, A. 1977. Wave-generated structures and sequences from a shallow marine succession, Lower Carboniferous, County Cork, Ireland. *Sedimentology*, **24**:451-483.

Reading, H.G. & Collinson, J.D. 1996. Clastic Coasts. In: H.G. Reading (ed.), *Sedimentary Environments*. Oxford, University of Oxford, p.154-231.

Richter, M. 2005. A new xenacanthid shark (chondrichthyes) from the Teresina Formation, Permian of the Paraná Basin, southern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **8**:149-158

Ricklefs, R.E. 1993. *A economia da natureza*. 3° ed. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 470 p.

Rodríguez-Tovar, F.J.; Uchman, A.; Payros, A.; Orue-Etxebarria, X.; Apellaniz, E. & Molina, E. 2010. Sea-level dynamics and palaeoecological factors affecting trace fossil distribution in Eocene turbiditic deposits (Gorrondatxe section, N Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **285**:50-65.

Rohn, R. 1989. Grupo Passa Dois. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, Curitiba, *Anais*, SBP, **5**:34-42.

Rohn, R. 1994. O possível significado das substituições malacofaunísticas durante a deposição do Grupo Passa Dois, Neopermiano, no flanco leste da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Balneário Camboriú, *Boletim de Resumos Expandidos*, SBG, p. 102-103.

Rohn, R. 1995. Distribuição de fósseis e de fácies no Grupo Passa Dois (Permiano Superior) na borda leste da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SOBRE A CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ. Porto Alegre, *Boletim de Resumos Expandidos*, UFRGS, p. 71-75.

Rohn, R. 2001. A estratigrafia da Formação Teresina (Permiano, Bacia do Paraná) de acordo com furos de sondagem entre Anhembi (SP) e Ortigueira (PR). In: J.H.G. Melo & G.J.S. Terra (eds.), *Correlação de seqüências Paleozóicas sul-americanas. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Seção: Exploração de Petróleo*, **20**:209-218.

Rohn, R.; Pennatti, J.R.R.; Iannuzzi, R.; Rösler, O.; Czajkowski, S.; Cavalheiro, M.C.T.; Mendonça, E. & Ricardi Branco, F.T. 1997a. Ocorrências de macrofitofósseis nas formações Teresina e Rio do Rasto (Permiano Superior da Bacia do Paraná) em Santa Catarina, Brasil. *Revista da Universidade de Guarulhos*, **2**(n. esp.):49-57.

Rohn, R.; Rösler, O.; Pennatti, J.R.R.; Czajkowski, S.; Iannuzzi, R.; Mendonça, E.; Ferreira, A.R.; Pereira, S.C.A. & Quitério, L. 1997b. Ocorrências de macrofitofósseis nas formações Teresina e Rio do Rasto (Permiano Superior da Bacia do Paraná) na porção meridional do Estado do Paraná, Brasil. *Revista da Universidade de Guarulhos*, **2**(n. esp.):58-68.

Rohn, R.; Lourenco, A.T.A. & Meghioratti, T. 2003. As formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto no furo de sondagem SP-23-PR (Permiano, Grupo Passa Dois, Borda Leste da Bacia do Paraná). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS, 2*, Rio de Janeiro, *CD-ROM (Trabalhos completos) e Resumos*, UFRJ, p. 1-6.

Rossetti, D.F. & Netto, R.G. 2006. First evidence of marine influence in the Cretaceous of the Amazonas Basin, Brazil. *Cretaceous Research*, **27**:513-528.

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. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **283**:28-45.

Savrda, C.E. 2007. Trace Fossils and Marine Benthic Oxygenation. *In: W. Miller, III (ed.) Trace fossils concepts, problems, prospects*. Geology Department Humboldt State University Arcata, CA, USA, p. 149-158.

Schlirf, M.; Uchman, A. & Kqmmel, M. 2001. Upper Triassic (Keuper) non-marine trace fossils from the Hagberge area (Franconia, south-eastern Germany). *Paläontologische Zeitschrift*, **75**: 71-96.

Schneider, R.L.; Mülmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R.A.; Daemon, R.F. & Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28*, Porto Alegre, *Anais*, SBG, **1**:41-65.

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

Tognoli, F.M.W. & Netto, R.G. 2003. Ichnological signature of Paleozoic estuarine deposits from the Rio Bonito-Palermo succession, eastern Paraná basin, Brazil. *Publicación Especial de la Asociación Paleontológica Argentina*, **9**:141-155.

Uchman, A. 1995. Taxonomy and palaeoecology of flysch trace fossils: the Marnoso arenacea formation and associated facies (Miocene, Northern Apennines, Italy). *Beringeria*, **15**:3-115.

Uchman, A. 1998. Taxonomy and ethology of flysch trace fossils: revision of the Marian Książkiewicz collection and studies of complementary material. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, **68**:105-218.

Uchman, A. 2001. Eocene flysch trace fossils from the Hecho Group of the Pyrenees, northern Spain. *Beringeria*, **28**:3-41.

Walker, R.G. & Plint, A.G. 1992. Wave and storm-dominated shallow marine systems. *In*: R.G. Walker & N.P. James (eds.), *Facies models response to sea level changes*. Geological Association of Canada, p. 219–238.