

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO

KEVIN WILLIAM RICHTER

CARACTERIZAÇÃO ICNOLÓGICA DAS UNIDADES INFERIOR E MÉDIA DA  
FORMAÇÃO FURNAS NO FLANCO NORTE DO ARCO DE PONTA GROSSA:  
IMPLICAÇÕES PALEOECOLÓGICAS

PONTA GROSSA

2022

KEVIN WILLIAM RICHTER

CARACTERIZAÇÃO ICNOLÓGICA DAS UNIDADES INFERIOR E MÉDIA DA  
FORMAÇÃO FURNAS NO FLANCO NORTE DO ARCO DE PONTA GROSSA:  
IMPLICAÇÕES PALEOECOLÓGICAS

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Elvio Pinto Bosetti

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Sedorko

PONTA GROSSA

2022

R534 Richter, Kevin William  
Caracterização icnológica das unidades inferior e média da Formação Furnas no flanco norte do Arco de Ponta Grossa: implicações paleoecológicas / Kevin William Richter. Ponta Grossa, 2022.  
83 f.

Dissertação (Mestrado em Gestão do Território - Área de Concentração: Gestão do Território: Sociedade e Natureza), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Elvio Pinto Bosetti.  
Coorientador: Prof. Dr. Daniel Sedorko.

1. Formação furnas. 2. Icnologia. 3. Paleoecologia. 4. Icnofácies Cruziana. I. Bosetti, Elvio Pinto. II. Sedorko, Daniel. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Gestão do Território: Sociedade e Natureza. IV.T.

CDD: 910

## TERMO DE APROVAÇÃO

KEVIN WILLIAM RICHTER

### “CARACTERIZAÇÃO ICNOLÓGICA DAS UNIDADES INFERIOR E MÉDIA DA FORMAÇÃO FURNAS NO FLANCO NORTE DO ARCO DE PONTA GROSSA: IMPLICAÇÕES PALEOECOLÓGICAS”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geografia — Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Elvio Pinto Bosetti (UEPG) - Presidente

Jorge Villegas Martin (ITT Fóssil - UNISINOS)

Gilson Burigo Guimarães (UEPG)



Documento assinado eletronicamente por Elvio Pinto Bosetti, Professor(a), em 16/08/2022, às 17:49, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

Documento assinado eletronicamente por Gilson Burigo Guimaraes, Professor(a), em 16/08/2022, às 19:00, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador 1051957 e o código CRC 702E8D36.

11.419/2006.

*À minha adorada família*

## **AGRADECIMENTOS**

O autor gostaria de agradecer às pessoas e instituições que auxiliaram na elaboração deste trabalho:

Ao meu orientador, Prof. Elvio Pinto Bosetti por me proporcionar o acesso às portas do mundo da Paleontologia através de inúmeras orientações e discussões, além da sua dedicação, confiança e amizade.

Ao meu coorientador, Prof. Daniel Sedorko por me acompanhar durante essa trajetória de minha vida, possibilitando a inserção nos caminhos da Icnologia, por meio de suas orientações, discussões, trabalhos de campo e paciência na execução deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG-DEGEO), Gabrieli Goltz, Iniwara Kurovski Pereira, Isabelle de Siqueira Tavares e Luana Oliveira, pelo companheirismo, discussões e auxílio nos trabalhos laboratoriais.

À coordenação do Mestrado em Gestão do Território pelo suporte burocrático, e aos professores Antonio Liccardo, Elvio Pinto Bosetti, Gilson Burigo Guimarães, Joseli Maria Silva, Luiz Alexandre Gonçalves Cunha e Márcio José Ornat por todos os conhecimentos transmitidos nas disciplinas cursadas.

Ao Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-Labmu-UEPG) pela colaboração no processo de análises laboratoriais durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca, Jorge Villegas-Martín e Gilson Burigo Guimarães pelas contribuições a este trabalho.

Às demais pessoas e instituições que de maneira indireta possibilitaram a execução deste trabalho.

*"The known is finite, the infinite unknown: intellectually we are on an island in the middle of the unlimited ocean of inexplicability. Our duty in each generation is to recover a little more land."*

Thomas Henry Huxley (1877)

## RESUMO

A Icnologia propicia informações detalhadas sobre os parâmetros ambientais envolvidos durante a deposição sedimentar, servindo de base para análises paleoambientais. Para esse fim, as análises icnológicas concentram-se nos aspectos comportamentais representados pelas icnoassociações, que fornecem detalhes da ação dos seres vivos que interagem com os substratos, contribuindo significativamente para a compreensão dos aspectos ambientais atuantes no meio. Há estudos icnológicos na Formação Furnas desde o início do século XX com referência para a presença de “tubos de vermes.” A evolução da Icnologia como ciência internacionalmente e os avanços no reconhecimento do conteúdo icnológico da unidade, possibilitou, na década de 1990, elucidar aspectos da extensa discussão sobre a sua origem deposicional. O contexto marinho raso influenciado pelas marés foi interpretado para a maior parte da unidade, possibilitado principalmente pela identificação das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*. Entretanto, a grande maioria dos estudos nesta unidade simplesmente reporta um icnogênero ou menciona “icnofósseis”, sem realizar uma análise integrada com a Geologia Sedimentar que pode elucidar o controle dos parâmetros paleoecológicos e processos de colonização pela infauna no substrato. Recentemente, foi demonstrado que parte da Formação Furnas se depositou no Siluriano Inferior, com base em dados icnológicos. Aqui, busca-se demonstrar a utilidade de análises paleoecológicas para a compreensão dos parâmetros ambientais atuantes no intervalo correspondente ao Siluriano Inferior. As regiões estudadas estão nos municípios de Jaguariaíva e Piraí do Sul no estado do Paraná, no flanco norte do Arco de Ponta Grossa. Esta região foi escolhida porque não possui análises paleoecológicas propostas, ao contrário de porções mais austrais do arco. Nove icnotáxons foram identificados entre as unidades inferior e média na Formação Furnas. As icnoassociações permitiram identificar expressões proximal e empobrecida da icnofácies *Cruziana*. O conjunto de evidências faciológicas e icnológicas indica a deposição em ambientes litorâneos entre o *foreshore* ao *shoreface* inferior sob condições de moderada a alta energia hidrodinâmica, como esperado para este contexto deposicional, mas com pausas significativas que possibilitaram a colonização típica da icnofácies *Cruziana*. As interpretações paleoecológicas obtidas evidenciaram que a energia hidrodinâmica do meio é o fator principal que impera no controle das variações faciológicas e nos processos de colonização pela infauna no intervalo em estudo.

**Palavras-chave:** Formação Furnas; Icnologia; Paleoecologia; Icnofácies *Cruziana*.



## ABSTRACT

Ichnology provides detailed information on the environmental parameters involved during sedimentary deposition, serving as the basis for paleoenvironmental analyses. To this end, the ichnological analyses focus on the behavioral aspects represented by the ichnoassociations, which provide details of the action of living beings that interact with the substrates, contributing significantly to the understanding of the environmental aspects that work in the environment. There have been ichnological studies in the Furnas Formation since the early twentieth century with reference to the presence of "worm tubes." The evolution of Ichnology as a science internationally and the advances in the recognition of the ichnological content of the unit made it possible, in the 1990s, to elucidate aspects of the extensive discussion about its depositional origin. The shallow marine context influenced by the tides was interpreted for most of the unit, made possible mainly by the identification of *Skolithos* and *Cruziana* ichnofacies. However, the vast majority of studies in this unit simply report an ichnogenus or mention "ichnofossils", without performing an integrated analysis with Sedimentary Geology that can elucidate the control by paleoecological parameters and colonization processes by infauna in the substrate. Recently, it has been demonstrated that part of the Furnas Formation has been deposited in the Lower Silurian, based on ichnological data. Here, it seeks to demonstrate the usefulness of paleoecological analyses for the understanding of environmental parameters in the interval corresponding to Lower Silurian. The regions studied are in the municipalities of Jaguariaíva and Piraí do Sul in the state of Paraná, on the northern flank of the Ponta Grossa Arc. This region was chosen because it does not have proposed paleoecological analyses, unlike more southern sections of the arch. Nine ichnotaxon were identified between the lower and middle units in the Furnas Formation. The ichnoassociations allowed to identify proximal and archetypal expressions of *Cruziana* ichnofacies. The set of faciological and ichnological evidence indicates the deposition in coastal environments between the foreshore and the lower shoreface under conditions of moderate to high hydrodynamic energy, as expected for this depositional context, but with significant pauses that allowed the typical colonization of the *Cruziana* ichnofacies. The paleoecological interpretations obtained showed that the hydrodynamic energy of the medium is the main factor that prevails in the control of variations faciological and in the processes of colonization by infauna in the interval under study.

**Key-words:** Furnas Formation; Ichnology; Paleoecology; *Cruziana* Ichnofacies.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das Supersequências e do Grupo Paraná na Bacia do Paraná no Brasil. ....	21
Figura 2 - Estratigrafia de sequências da Supersequência Paraná proposta por Sedorko <i>et al.</i> (2018a).....	21
Figura 3 - Representação da provável interpretação paleoambiental descrita por Bergamaschi (1992).....	32
Figura 4 - Seção colunar no Canyon Guartelá como exemplo de distribuição dos icnofósseis na Formação Furnas; observar a presença de icnofósseis desde os níveis mais basais da unidade.....	46
Figura 5 - Fácies sedimentares da Formação Furnas (ver Tabela 2). A-B Vista dos afloramentos Santuário Santa do Paredão e PR-090, Km 165. C. Arenito maciço com seixos de granulação grossa (fácies Sm). D. Arenito grosso com estratificação cruzada de baixo ângulo (fácies SI). E. Arenito fino com estratificação/laminação plano-paralela (fácies Sh). F. Arenito médio com estratificação cruzada acanalada (fácies St). G. Arenito médio a grosso com estratificação planar (fácies Sp). H. <i>Wave ripples</i> em arenito médio para muito fino (fácies Sr). I. Siltito maciço localmente fino (fácies Fsm).....	51
Figura 6 - Seção colunar com da distribuição das litofácies, icnotáxons ocorrentes, das icnofácies e índice de bioturbação. ....	51
Figura 7 - Icnofósseis da Formação Furnas: A. Nível do afloramento e posição da <i>Cruziana</i> isp. ( <i>Cr</i> ) em B. a disposição das <i>Cruziana</i> no plano de acamamento e C. Zoom no caráter bilobado; D. <i>Didymaulichnus lyelli</i> ( <i>Di</i> ) preservado em epirelevo côncavo no plano de acamamento; E. <i>Palaeophycus tubularis</i> ( <i>Pt</i> ) em epirelevo côncavo no plano de acamamento; F <i>Thalassinoides</i> isp. ( <i>Th</i> ) preservada em relevo cheio na vista do plano de estratificação; G-J-I. Icnossociação de <i>D. lyelli</i> , <i>P. tubularis</i> e <i>Thalassinoides</i> isp. em variados tamanhos. A barra de escala representa 1 cm. ...	57
Figura 8 - Icnofósseis da Formação Furnas: A. <i>Didymaulichnus lyelli</i> ( <i>Di</i> ) preservado em epirelevo convexo e côncavo no plano de acamamento associado com <i>Palaeophycus tubularis</i> ( <i>Pt</i> ); B. <i>Didymaulyponomos rowei</i> ( <i>Dr</i> ) preservado em epirelevo côncavo; C. <i>Heimdallia chatwini</i> ( <i>Hc</i> ) no plano de acamamento; D. <i>Palaeophycus tubularis</i> ( <i>Pt</i> ) com a estrutura preenchida com sedimento; E.	

<i>Rusophycus</i> isp. ( <i>R</i> ) preservado em epirelevo côncavo. F. <i>Skolithos</i> ( <i>Sk</i> ) preservado abertura da escavação. G. <i>Taenidium dieslingi</i> ( <i>Td</i> ) preservado em epirelevo côncavo. A barra de escala representa 1 cm. ....	58
Figura 9 - Diagrama esquemático da colonização representada pelos icnotáxons ao longo das fácies plataformais da Formação Furnas.....	60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação dos trabalhos que abordaram a icnotaxonomia da Formação Furnas, após o período do advento da icnotaxonomia.....	27
Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade. ....	33

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Síntese dos estudos que descreveram a presença de icnofósseis na Formação Furnas, bem como sua identificação e local de ocorrência.....	25
Tabela 2 - Fácies sedimentares e características da área de estudo. ....	48

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	16
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	17
3.2 TRABALHOS DE CAMPO.....	17
3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS .....	18
3.4 INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÕES DOS DADOS .....	18
<b>4 CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	19
<b>5 ESTADO DA ARTE DAS PESQUISAS ICNOLÓGICAS NOS DEPÓSITOS DA FORMAÇÃO FURNAS</b> .....	22
5.1 A ICNOLOGIA APLICADA NA INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL DA FORMAÇÃO FURNAS.....	22
5.2 ICNOLOGIA CLÁSSICA.....	23
5.3 ADVENTO DA ICNOTAXONOMIA.....	24
5.4 ABORDAGEM DA ICNOLOGIA APLICADA A RECONSTITUIÇÕES PALEOAMBIENTAIS.....	30
5.4.1 Unidade inferior .....	42
5.4.2 Unidade média .....	43
5.4.3 Unidade superior .....	44
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	47
6.1 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E ICNOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO .....	47
6.1.1 Unidade Inferior.....	47
6.1.2 Unidade Média .....	47
6.2 DESCRIÇÃO DAS ICNOFÁCIES E ICNOFÓSSEIS .....	49
6.2.1 Icnofácies .....	49
6.2.2 Descrição dos icnofósseis .....	50
6.3 INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL.....	55
6.3.1 Significado icno-sedimentológico .....	55

6.3.2 Evidências paleoecológicas .....	58
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Icnologia estuda as estruturas biogênicas, que preservam o registro da atividade dos animais e plantas (*i.e.* pistas, pegadas, trilhas, tocas e perfurações) no substrato. Quando analisadas no contexto atual, são estudadas pela Neoicnologia, enquanto no registro fóssil são abordadas pela Paleoicnologia. Diferente da Paleontologia, onde o objeto de estudo (*i.e.* fóssil corpóreo) fornece informações sobre as características taxonômicas de um determinado organismo, as estruturas biogênicas ou “icnofósseis” fornecem informações sobre o comportamento de um produtor, condicionadas pelos parâmetros paleoambientais (MCILROY, 2004).

Mesmo que nem sempre seja possível identificar o organismo responsável pelo traço, é possível reconhecer a categoria etológica vinculada à sua formação, o que traz relevantes informações das condições ambientais que condicionaram esta atividade (BUATOIS; MÁNGANO, 2011). Por exemplo, escavações verticais produzidas por organismos suspensívoros são bons indicadores da energia hidrodinâmica elevada no meio, condição necessária para manter o alimento em suspensão.

A principal vantagem de se analisar estruturas biogênicas reside em seu caráter autóctone, pois ao contrário de restos de esqueletos e demais partes orgânicas fossilizadas, se preservam no lugar em que foram produzidas, indicando diretamente as características do meio que induziram o comportamento do animal. Portanto, é possível, a partir de dados icnológicos, fazer inferências sobre parâmetros ambientais vigentes no momento da gênese das estruturas biogênicas, tais como salinidade, oxigenação, energia hidrodinâmica, taxa de sedimentação e consistência do substrato. Essas informações contribuem de maneira significativa para a interpretação dos depósitos sedimentares (EKDALE, 1985; BUATOIS; MÁNGANO, 1993; MÁNGANO; DROSER, 2004; BRENCHLEY; HARPER, 1998; SEILACHER *et al.*, 2005, GERARD; BROMLEY, 2008).

Deste modo, a composição icnológica e os padrões arquiteturais preservados no registro sedimentar, permitem inferências sobre o contexto paleodeposicional e o diagnóstico das variações dos parâmetros paleoecológicos dominantes (BROMLEY; EKDALE, 1984; EKDALE, 1988; BEYNON; PEMBERTON, 1992; PEMBERTON; WIGHTMAN, 1992; BROMLEY, 1996; MARTIN, 2004), podendo até revelar processos de colonização resultantes da exploração de ecossistemas vazios ou subutilizados,



nos variados tipos de substratos, sejam eles inconsolidados, litificados, xílicos ou de qualquer outra natureza (MÁNGANO; BUATOIS, 2007).

As formações Siluro-devonianas da Bacia do Paraná apresentam grande variedade de icnofósseis, em especial a Formação Furnas, cujo ambiente deposicional é atestado como marinho raso pela análise de fácies e corroborado pela presença das associações de icnofósseis, sendo relativamente bem conhecida em trabalhos de escala regional, com destaque para a borda leste da bacia (*e.g.*, ASSINE, 1996; FERNANDES, 1996; CIGUEL *et al.*, 1996; BERGAMASCHI, 1992, 1999; FERNANDES *et al.*, 2002; NETTO *et al.*, 2014; SEDORKO *et al.*, 2017). Embora as pesquisas icnológicas tenham alto potencial para reconstruções paleoambientais, análises detalhadas das sucessivas suítes icnológicas ocorrentes nos depósitos da Formação Furnas ainda são raros.

As unidades inferior e média da Formação Furnas (Siluriano Inferior) não possui registro de fósseis corporais, o que dificulta o posicionamento cronoestratigráfico. Recentemente, se reconheceu icnofósseis com valor icnoestratigráfico na unidade média da formação, principalmente do grupo “*Cruziana*”, ou “*Cruziana Stratigraphy*”, como referido por Seilacher (2007), mas também arthropycídeos restritos ao Siluriano Inferior. Estes dados permitiram reconhecer que as unidades inferior e média foram depositadas ainda no Siluriano Inferior (SEDORKO *et al.*, 2017 – para uma discussão mais aprofundada, ver o referido trabalho). Portanto, o reconhecimento de variações paleoecológicas a partir de alterações significativas no padrão icnológico é pouco abordado para a Formação Furnas, com apenas um trabalho para a região dos Campos Gerais do Paraná (SEDORKO *et al.*, 2017), mas que não abordou a região de Piraí do Sul e Jaguariaíva. Neste sentido, o presente estudo almeja caracterizar as suítes icnológicas das unidades inferior e média da Formação Furnas na região de Piraí do Sul e Jaguariaíva, além de fornecer interpretações paleoecológicas para os referidos estratos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho apresenta como principal objetivo caracterizar as condições paleoambientais e paleoecológicas das unidades inferior e média (Siluriano Inferior) da Formação Furnas com base em uma abordagem integrada de Sedimentologia e Icnologia.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I) Analisar as produções acadêmicas e o desenvolvimento das pesquisas icnológicas associadas às interpretações dos paleoambientes da Formação Furnas para borda leste da Bacia do Paraná;
- II) Identificar os padrões icnológicos das unidades inferior e média da Formação Furnas;
- III) Inferir os controles paleoecológicos evidenciados pelas suítes do referido intervalo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi executada em quatro etapas: levantamento bibliográfico; trabalhos de campo e organização dos dados coletados; análises laboratoriais e interpretações dos dados. Estas etapas estão pormenorizadas a seguir.

#### 3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Nesta etapa, foi efetuado o levantamento da bibliografia geral, configurando o embasamento teórico para atualização do estado da arte sobre os trabalhos de cunho icnológico, paleontológico e sedimentológico com destaque principalmente para os depósitos da Formação Furnas. As buscas pela literatura especializada foram realizadas em periódicos científicos nacionais e internacionais, artigos, teses, dissertações e resumos de eventos da área.

#### 3.2 TRABALHOS DE CAMPO

As amostras analisadas procedem de afloramentos das unidades inferior e média da Formação Furnas, situados na região de Jaguariaíva e Piraí do Sul no estado do Paraná. A região foi escolhida por carecer de trabalhos que integrem dados icnológicos e faciológicos com o intuito de realizar interpretações paleoecológicas e paleodeposicionais, embora tenha sido prospectada do ponto de vista icnotaxonômico. O material coletado encontra-se depositado no Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia, do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) sob numeração MPI – 15701 a 15706 e 15959 a 15980. Todo o material coletado em campo teve o referenciamento do nível e posição dos icnofósseis em relação ao plano de acamamento, associados ainda às descrições faciológicas.

A quantificação dos icnofósseis se embasou na escala proposta por Reineck (1967), que varia de 0 (sem icnofósseis) até 6 (rocha completamente homogeneizada pela ação biogênica). Adotou-se a sigla BS (bioturbation scale) variando de 0 a 6. As amostras observadas e coletadas em campo utilizaram ferramentas braçais (martelo, talhadeira e broxa retangular). Em laboratório o material foi processado na seguinte ordem:

1. Limpeza e numeração do material;
2. Identificação e descrição dos icnotáxons;
3. Montagem de um banco de fotos utilizando câmera digital (Nikon® D90, lente AF-S Micro-Nikkor 105mm 1:2.8G ED);
4. Confeção de perfis estratigráficos e blocos diagramas de reconstruções paleoambientais com base em dados coletados em campo e analisados no laboratório. O *software CorelDraw Graphics 2021®*, foi utilizado para realização dessa etapa;
5. Acondicionamento dos fósseis em embalagens para proteção contra ação do tempo.

### 3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

Em laboratório, as amostras coletadas foram fotografadas e analisadas as feições morfológicas dos icnofósseis baseadas nas icnotaxobases (*sensu*: BROMLEY, 1996), permitindo a classificação icnotaxonomica a nível de icnogêneros e icnoespécies. Alguns fragmentos orgânicos coletados foram analisados em MEV-EDS, mas não serão abordados nesta pesquisa por não se relacionarem com o objetivo da mesma.

### 3.4 INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÕES DOS DADOS

A fase final da pesquisa abrangeu a sistematização dos dados coletados em trabalhos de campo nas regiões prospectadas, desta forma possibilitando o reconhecimento da icnofauna associada a ocorrência das icnofácies *Cruziana* a partir dos dados levantados. As reconstituições paleoambientais apresentadas são embasadas pela caracterização icno-sedimentológica nas seções analisadas, sendo possível a determinação de condições paleoambientais.

## 4 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Paraná configura uma ampla região sedimentar de aproximadamente 1.600.000 km<sup>2</sup> no continente sul-americano, abrangendo porções do território brasileiro, paraguaio, argentino e uruguaio. Por sua especificidade em relação aos aspectos de posicionamento geotectônico e características tectono-sedimentares, é caracterizada como uma bacia *retro-foreland* nas supersequências Rio Ivaí e Paraná, para sinéclise pericratônica no intervalo pós-Devoniano (HENRIQUE-PINTO *et al.*, 2021). Inclusive, o modelo apresentado por Henrique-Pinto *et al.* (2021) assume o intervalo inferior e médio da Formação Furnas como Siluriano Inferior, seguindo proposta de SEDORKO *et al.* (2017).

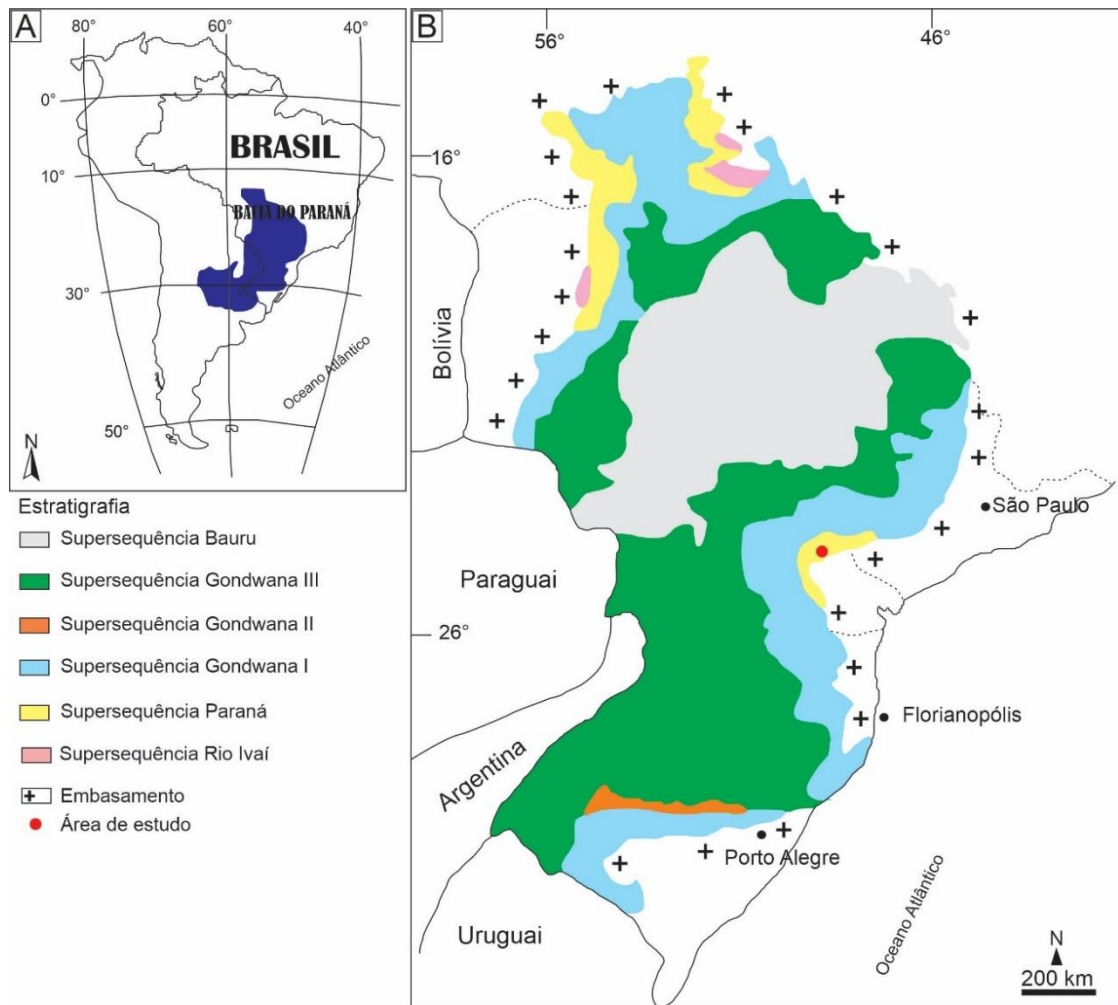
A evolução do seu preenchimento sedimentar se deu em resposta aos ciclos tectônico-eustáticos associados à evolução do Gondwana Ocidental, depositados do Ordoviciano Superior ao Cretáceo Superior, compreendendo seis supersequências: Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I que representam a deposição em condições marinhas, definidas por ciclos transgressivo-regressivos relacionados a oscilações do nível relativo do mar durante o Paleozoico; e as unidades Gondwana II, Gondwana III e Bauru, que correspondem aos pacotes de sedimentitos continentais com rochas ígneas associadas (MILANI *et al.*, 2007). Os estratos aqui tratados pertencem à Supersequência Paraná equivalente ao Grupo Paraná (Fig. 1). O Grupo Paraná é constituído por depósitos marinho raso formados no intervalo Siluro-Devoniano, abrangendo as clássicas unidades litoestratigráficas, as formações Furnas e Ponta Grossa (LANGE; PETRI, 1967; para outras interpretações recentes ver GRAHN *et al.*, 2013). Este estudo analisa exclusivamente a sucessão siluriana (unidades inferior e média) dos depósitos da Formação Furnas na borda leste da Bacia do Paraná, ao norte do Arco de Ponta Grossa.

A Formação Furnas caracteriza-se como uma unidade siliciclástica essencialmente psamítica, com uma espessura variando entre 250 e 300 metros no depocentro da bacia. Constitui uma uniformidade faciológica, representada por arenitos finos à grossos, localmente conglomeráticos, com estratificações cruzadas e níveis com intercalações pelíticas (ASSINE, 1996). A análise faciológica permitiu a subdivisão da Formação Furnas em três unidades informais: inferior, média e superior (*sensu*: ASSINE, 1999). O reconhecimento de icnofácies marinhas nestes três intervalos, de microfósseis e restos vegetais exclusivamente no topo unidade superior,

atrelados a vários níveis de depósitos rudíticos e arenáceos, caracterizam um ambiente marinho raso dominado por ondas de marés e tempestades (*sensu*: BORGHI, 1993; ASSINE, 1999; BERGAMASCHI, 1999; SEDORKO *et al.*, 2017).

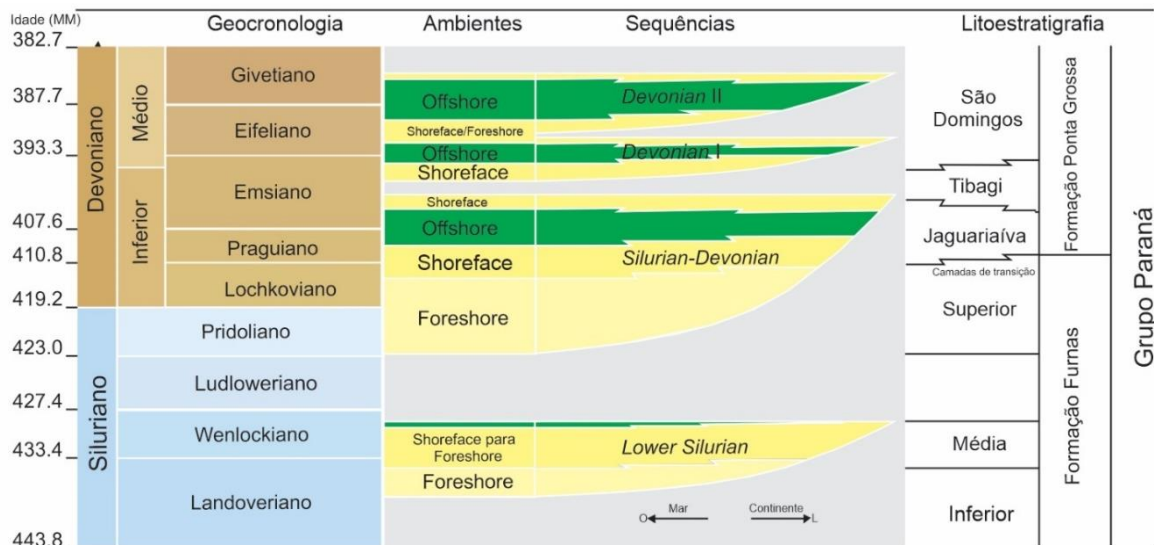
Sedorco *et al.* (2018a) com base em aspectos sedimentológicos e icnológicos reconheceram quatro sequências deposicionais para a Supersequência Paraná, da base para o topo, como nomeadas pelos autores: *Lower Silurian*, *Siluro-Devonian*, *Devonian I* e *Devonian II* (Fig. 2; para outras interpretações ver ASSINE, 1996, BERGAMASCHI, 1999 e GRAHN *et al.*, 2013). Os depósitos das unidades inferior e média da Formação Furnas representam o contexto transgressivo da sequência *Lower Silurian*, caracterizada pelo predomínio de contexto transgressivo e por restritas ocorrências com intervalos de pacotes regressivos. Este é o intervalo foco do estudo, e onde estão preservados icnofósseis com valor icnoestratigráfico do Siluriano Inferior (*sensu*: SEDORKO *et al.*, 2017). A sequência *Siluran-Devonian* no topo sobrepõe estes estratos, sendo limitados por uma superfície erosiva, previamente também identificada por Assine (1996). Esta sequência também agrupa predominantemente estratos transgressivos sobrepostos que culminam nos pelitos da Formação Ponta Grossa.

Figura 1 - Mapa de localização das Superseqüências e do Grupo Paraná na Bacia do Paraná no Brasil.



Fonte: modificado de Milani *et al.* (2007) e Richter *et al.*, (2021a).

Figura 2 - Estratigrafia de seqüências da Superseqüência Paraná proposta por Sedorko *et al.* (2018a).



Fonte: modificado de Sedorko *et al.* (2018a).

## 5 ESTADO DA ARTE DAS PESQUISAS ICNOLÓGICAS NOS DEPÓSITOS DA FORMAÇÃO FURNAS

Esta seção integra os dados históricos de estudos icnológicos na Formação Furnas na borda leste da Bacia do Paraná, realizando análise crítica sobre a evolução do conhecimento.

### 5.1 A ICNOLOGIA APLICADA NA INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL DA FORMAÇÃO FURNAS

Nas últimas décadas, o desenvolvimento das pesquisas icnológicas vem ganhando destaque na sequência Siluro-Devoniano no estado do Paraná (e.g., CIGUEL; ACEÑOLAZA, 1986; 1989; CAMPANHA, 1985; FERNANDES; MELO, 1985; ASSINE, 1999; FERNANDES, 1996; NETTO *et al.*, 2014; SEDORKO *et al.*, 2017, 2018a, b, c, d; 2019; 2021, 2022). Os avanços sobre os conhecimentos icnológicos provaram a importância, devido a sua dupla natureza como objeto da Paleontologia e da Sedimentologia para a aplicação dos icnofósseis na caracterização dos ambientes deposicionais do Grupo Paraná (LANGE; PETRI, 1967), em especial para a Formação Furnas.

Geralmente considerada como pouco fossilífera, por apresentar apenas fragmentos vegetais e palinórfos em suas camadas de transição, a Formação Furnas preserva um rico conteúdo icnofossilífero. Embora a Icnologia seja um campo importante para a solução de problemas fundamentais e aplicados às Geociências, na literatura geral há poucos estudos de síntese que abordam uma visão histórica para os estratos Siluro-Devoniano da Bacia do Paraná (e.g., CIGUEL, 1996; SEDORKO *et al.*, 2013). De modo geral, estes trabalhos enfatizaram episódios específicos sobre a revisão do seu conteúdo icnofossilífero e aspectos icnofaciológicos.

A história do desenvolvimento das pesquisas icnológicas na Formação Furnas pode ser dividida em três fases:

1. *Icnologia clássica* (1912 - 1942): durante esta fase histórica, predominam as primeiras observações da presença de estruturas biogênicas associadas a “tubos de vermes” nos depósitos da Formação Furnas.



2. *Advento da icnotaxonomia* (1942 - 1992): nesta fase a maioria dos trabalhos enfatizou a identificação e a descrição dos icnofósseis.
3. *Abordagem da Icnologia aplicada às reconstituições paleoambientais* (1992 - presente): a última fase marca a aplicação dos estudos icnológicos como indicadores do ambiente deposicional da unidade.

A primeira fase é representada por uma baixa quantidade de trabalhos de identificação e descrição dos traços fósseis. Este fator deve-se às mudanças de paradigmas em relação ao desenvolvimento da Icnologia (até a década de 1950) como uma ciência responsável pelo reconhecimento das estruturas biogênicas e as interpretações do seu significado no registro sedimentar (OSGOOD, 1975). Já as duas últimas fases utilizaram a Icnologia como uma ferramenta aplicada para identificação dos icnotáxons e a caracterização paleoambiental da Formação Furnas, respectivamente.

## 5.2 ICNOLOGIA CLÁSSICA

A denominação de *Grés* (=arenito, em francês) de Furnas foi utilizada para caracterizar os arenitos da base das seções devonianas do Paraná. Oliveira (1912, p. 34) descreveu “a franca discordância com os terrenos metamórficos que demoram a Leste dos escarpamentos chamados de Serrinha e Furnas” caracterizados pela abundante presença de um “grés branco, algumas vezes amarelado, grosseiro, frequentemente friável, que aflora na parte superior daquelas escarpas”.

Além de descrever a estratigrafia da unidade, Oliveira (1912, p. 35) destacou a inexistência de fósseis corpóreos, salvo a presença de “tubos de vermes”, mencionando que “nenhum fóssil foi encontrado no grés das Furnas, salvo tubos de *Arenicolites*, nas margens do arroio Grande, que cahe no ribeirão do Matadouro, afluente do rio Verde em Ponta Grossa”.

A icônica monografia de John M. Clarke de 1913 é um marco para os estudos no Devoniano paranaense, por realizar uma extensa revisão sistemática do seu conteúdo fossilífero. Clarke (1913, p. 64) mencionou que para a Formação Furnas “até agora não tem sido fornecido fósseis ou traços de organismos, salvo tubo de vermes, nas suas camadas superiores”. Apesar da falta de uma descrição minuciosa nos trabalhos de Oliveira (1912) e Clarke (1913), estes autores abriram as portas para o reconhecimento dos icnofósseis nas décadas seguintes.

Expedições de campo realizadas no ano de 1938 por Frederico W. Lange, identificaram os “primeiros fósseis encontrados na margem do Rio Pitangui, perto da Usina Velha de Ponta Grossa” (LANGE, 1942, p. 4). Lange cedeu as informações para a publicação de um compêndio sobre o Devoniano paranaense realizado por Carvalho (1941) que associou erroneamente este achado nos sedimentos da formação aos tubos de vermes atribuídos ao icnogênero *Arenicolites*, baseando-se nas descrições de Oliveira (1912, 1927).

Lange (1942) reencontrou estruturas idênticas em exposição nos arenitos próximos ao Passo do Pupo, também no município de Ponta Grossa. O autor descreveu estas pistas nas duas localidades, como: “alongadas, em forma de tubos ligeiramente ondulados” (LANGE, 1942, p. 5). Inicialmente interpretando como *Bilobites* associados a atividade de anelídeos, crustáceos ou equinodermos, devido um “pronunciado sulco mediano que os divide em duas partes, ou lobos, aparentando assim um soldamento longitudinal de dois tubos alongados, ligeiramente ondulados” (LANGE, 1942, p. 5). Contudo, d’Orbigny (1842), já havia sinonimizado o icnogênero *Bilobites* como *Cruziana*.

A ausência de ornamentações superficiais e o aspecto geral das escavações permitiram à Lange identificar esses traços como pertencentes ao icnogênero *Fraena* Rouault 1850, denominando esses “restos vermiformes no Arenito Furnas” como a icnoespécie *Fraena furnai*. Este fato confere a Lange o pioneirismo na descrição e classificação de icnofósseis nos depósitos da Formação Furnas.

### 5.3 ADVENTO DA ICNOTAXONOMIA

As primeiras observações e descrições das evidências de vida nos arenitos da Formação Furnas por Lange (1942) abriram as portas para o início de extensas discussões de ordem icnotaxonômica acerca da icnoespécie *Fraena furnai*, assim como o incentivo às pesquisas de prospecção para o reconhecimento dos icnofósseis na unidade nos anos seguintes (ver Tabela 1).

A primeira grande mudança nomenclatural para *Fraena furnai* foi proposta por Lange e Petri (1967) sem argumentarem as causas desta alteração do icnogênero *Fraena* para *Rouaultia* (SEDORKO *et al.*, 2013). Nesse mesmo contexto, Fernandes e Netto (1985, *apud* CIGUEL, 1996) propuseram a modificação da designação *Rouaultia furnai* para *Didymaulichnus furnai*.

Tabela 1 - Síntese dos estudos que descreveram a presença de icnofósseis na Formação Furnas, bem como sua identificação e local de ocorrência.

Autor	Iconotaxons	Localidade
Ciguel e Godoy (1985)	<i>Palaeophycus</i> isp.	Cerro do Purunã, São Luiz do Purunã (PR)
Ciguel e Aceñolaza (1986)	<i>Lockeia</i> isp., <i>Palaeophycus alternatus</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Rusophycus imbricata</i>	Estados de Paraná e Goiás
Ciguel e Aceñolaza (1988)	<i>Conosthicus</i> isp.	Região do Alagados, Ponta Grossa (PR)
Rodrigues <i>et al.</i> , (1988; 1989)	—	Região do Alagados, Ponta Grossa (PR)
Ciguel e Aceñolaza (1989)	<i>Conosthicus</i> isp., <i>Didymaulichnus furnai</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Planolites</i> isp., <i>Skolithos</i> isp. <i>Didymaulichnus</i> isp., <i>Monocraterion</i> isp.,	Região do Alagados, Ponta Grossa (PR)
Bergamaschi (1992)	<i>Palaeophycus</i> isp., <i>Planolites</i> isp., <i>Rusophycus</i> isp. <i>Conosthicus</i> isp., <i>Didymaulichnus furnai</i> , <i>Lockeia</i> isp., <i>Palaeophycus tubularis</i> ,	Jaguariaíva (PR)
Borghi e Schubert (1992)	<i>Palaeophycus alternatus</i> , <i>Planolites vulgaris</i> , <i>Planolites</i> isp., <i>Rusophycus didymus</i> , <i>Skolithos</i> isp.	—

Fonte: O autor.

Ciguel e Acenõlaza (1986) ao abordarem a icnologia da Formação Furnas nos estados do Paraná e Goiás, com base na recomendação de Häntzschel (1975) confirmaram a sinonímia de *Rouaultia* Roualt, 1850 para *Didymaulichnus* Young, 1972, definindo-a como “pistas bilobadas e lisas, paralelas ao acamamento, com

formato suavemente curvo, preservados em epirelevo ou hiporelevo” (CIGUEL; ACENÓLAZA, 1986, p. 595), assim, esclarecendo a problemática nomenclatural no entorno do icnofóssil encontrado por Lange (1942).

Na sua grande maioria os icnofósseis não são bons marcadores cronoestratigráficos, entretanto, Aceñolaza e Ciguel (1987) sugeriram uma idade siluriana para as formações Balcarce (Argentina) e Furnas com base na comparação da associação icnofossilífera encontrada nas unidades. De fato, para o Paleozoico alguns grupos de icnofósseis são aplicáveis à Icnostratigrafia. Inclusive, a passagem Ediacarano-Cambriano é limitada pela primeira ocorrência de um icnofóssil (*i.e. Treptichnus pedum*, ver BUATOIS; MÁNGANO, 2011). O trabalho de Sedorko *et al.* (2017) corrobora a proposta de Aceñolaza e Ciguel (1987). Além disto, a identificação dessas icnoassociações possibilitou a constatação de um paleoambiente marinho em condições relativamente mais profundas que aquelas expressas pela icnofácies *Skolithos*. Neste trabalho, os autores aventaram ainda, a possibilidade da icnoespécie *Didymaulichnus furnai* tratar-se de *Didymaulichnus lyelli*.

Borghi e Schubert (1992) retomaram a discussão sobre a nomenclatura adequada para o icnogênero *Didymaulichnus* isp., propondo um novo icnogênero para formas bilobadas na base e unilobadas no topo, o *Furnasichnus*. Recentemente, Sedorko *et al.* (2017) sinonimizaram *Furnasichnus* à *Didymauliponomos rowei*. Ainda sobre *Didymaulichnus*, Ciguel (1996) revisou as ocorrências anteriormente referidas com base nos holótipos e parátipos, propondo que os espécimes anteriormente descritos como *F. furnai*, *R. furnai* e *D. furnai* fossem sinonimizados a *Didymaulichnus lyelli*.

Bergamaschi (1992) analisando os depósitos da borda leste da bacia, identificou a ocorrência de icnofósseis pertencentes à icnofácies *Skolithos* (ver Tabela 1), interpretando os depósitos no topo da seção da Formação Furnas como de *shoreface* superior. Entretanto Sedorko *et al.* (2013) mencionaram que os padrões das associações icnofossilíferas descritas por Bergamaschi (1992) refletiriam estruturas e padrões comportamentais associados com as expressões da icnofácies *Cruziana* proximal, pois o padrão horizontalizado e o predomínio de escavações de detritívoros não condiz com a icnofácies *Skolithos*, aceção compartilhada neste trabalho.

Este período histórico das pesquisas icnológicas nos depósitos da Formação Furnas marcou o interesse sobre o reconhecimento dos icnofósseis, assim como o

início do uso da Icnologia para a identificação dos contextos paleoambientais. Além disto, com a intensificação dos estudos de caráter icnotaxonômico em trabalhos posteriores a este período houve o reconhecimento de uma detalhada e rica icnodiversidade distribuída ao longo das unidades da Formação Furnas (Quadro 1).

Quadro 1 - Relação dos trabalhos que abordaram a icnotaxonomia da Formação Furnas, após o período do advento da icnotaxonomia.

Icnotáxons	Unidade estratigráfica	Localidade	Autor
<i>Cruziana</i> isp., <i>Lockeia</i> isp., <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Rusophycus</i> isp., <i>Scolicia</i> isp.	Média	Região do Alagados, Ponta Grossa (PR) PR-340, km 62,0-15,5 RFFSA, PG-L, km 252 RFFSA, Desvio Ribas-Vila Velha, km 238,9 BR 277, km 139,5-138,5 BR-376, km 517,9-549,6	Borghi (1993)
<i>Cylindrichnus concentricus</i> <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Scolicia</i> isp., <i>Skolithos linearis</i> , <i>Skolithos magnus</i>	Superior	PR-340, Km 62,0 RFFSA, Ponta Grossa-Londrina, km 252 RFFSA, Desvio Ribas-Vila Velha, km 238,9	Borghi (1993)
<i>Arenicolites</i> isp., <i>Circulichnus</i> isp., <i>Cruziana</i> isp., <i>Isopodichnus</i> isp., <i>Skolithos</i> isp.	Superior	Chapada dos Guimarães (MT)	Schubert (1994)
<i>Arenicolites</i> isp., <i>Cruziana</i> isp., <i>Didymaulichnus</i> isp., <i>Palaeophycus</i> isp., <i>Planolites</i> isp., <i>Rusophycus</i> isp.	Inferior e Média	BR-163, km 707,5 BR-277, km 135 sentido Curitiba - Ponta Grossa PR-151, km 131,5 Rodovia Castro-Tibagi, km 19,5 Sítio Cercado, BR 376, 533,5	Assine (1996)
<i>Cruziana</i> isp., <i>Rusophycus</i> isp.	Média	BR-277, sentido Curitiba - Ponta Grossa	Assine e Góis (1996)
<i>Arenicolites</i> isp., <i>Didymaulichnus lyelli</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> (= <i>P. alternatus</i> ), <i>Planolites</i> isp., <i>Skolithos</i> isp.	Inferior	Sítio Cercado Palmeira (PR) BR-376, km 533,5	Ciguel <i>et al.</i> (1996)

Quadro 1 - Relação dos trabalhos que abordaram a icnotaxonomia da Formação Furnas, após o período do advento da icnotaxonomia.

(Continuação)

Icnotáxons	Unidade estratigráfica	Localidade	Autor
<i>Dydimaulichnus furnai</i> , <i>Furnasichnus langei</i> (= <i>Dydimauliponomos rowei</i> ), <i>Palaeophycus tubulares</i> , <i>Planolites isp.</i> , <i>Rusophycus isp.</i>	Inferior e média	BR-376, Km 539 PR-090, Km 12 PR-340, Km 62	Fernandes (1996)
<i>Cylindrichnus isp.</i> , <i>Monocraterion isp.</i> , <i>Rusophycus isp.</i> , <i>Skolithos ayalis</i> , <i>Skolithos linearis</i>	Superior	PR-092, km 229 PR-340, km 62 Chapada dos Guimarães (MT)	Fernandes (1996)
<i>Cruziana isp.</i> , <i>Didymauliponomos rowei</i> (= <i>Furnasichnus langei</i> ), <i>?Helichondromites isp.</i> , <i>Paleobullia isp.</i> , <i>Rusophycus isp.</i> , <i>Thalassinoides isp.</i> ,	Média	BR-277, Km 135 sentido Curitiba - Ponta Grossa	Tognoli <i>et al.</i> (2002)
<i>Arenicolites isp.</i> , <i>Lockeia isp.</i> , <i>Palaeophycus isp.</i> , <i>Planolites isp.</i> , <i>Rhizochorallium isp.</i> , <i>Skolithos isp.</i> , <i>Thalassinoides isp.</i> , <i>Theichichnus isp.</i> ,	Superior	Rua Marechal Deodoro, Bairro Lagoão, Jaguariaíva, próximo ao cruzamento com a estrada de ferro	Tognoli <i>et al.</i> (2002)
<i>Cruziana acacensis</i>	—	—	Seilacher (2007)

Quadro 1 - Relação dos trabalhos que abordaram a icnotaxonomia da Formação Furnas, após o período do advento da icnotaxonomia.

(Continuação)

Icnotáxons	Unidade estratigráfica	Localidade	Autor
<i>Cruziana acacensis</i> , <i>Didymauliponomos rowei</i> (= <i>Furnasichnus langei</i> ), <i>?Psammichnites isp.</i> , <i>Rusophycus acacensis</i> , <i>Thalassinoides isp.</i>	Média	São Luiz do Purunã (PR).	Netto <i>et al.</i> (2012; 2014)
<i>Arenicolites isp.</i> , <i>Cylindrichnus isp.</i> , <i>Palaeophycus isp.</i> , <i>Rusophycus isp.</i> , <i>Skolithos isp.</i> , <i>Thalassinoides isp.</i>	Inferior	Canyon Guartelá, na região de Tibagi (PR) Sítio Caneí, na região de Palmeira (PR) Rio São Jorge, na região dos Alagados, Ponta Grossa (PR)	Sedorko <i>et al.</i> (2017)
<i>Arenicolites isp.</i> , <i>Arthropycus alleghaniensis</i> , <i>Cruziana acacensis</i> , <i>Cylindrichnus isp.</i> , <i>Diplocraterion isp.</i> , <i>Didymaulichnus lyelli</i> , <i>Didymauliponomos rowei</i> (= <i>Furnasichnus langei</i> ), <i>Heimdallia chatwini</i> , <i>Lockeia siliquaria</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Psammichnites implexus</i> , <i>Rhizocorallium commune</i> , <i>Rusophycus acacensis</i> , <i>Skolithos isp.</i> , <i>Thalassinoides isp.</i>	Média	Canyon Guartelá, na região de Tibagi (PR) Sítio Caneí, na região de Palmeira (PR), Rio São Jorge, na região dos Alagados, Ponta Grossa (PR)	Sedorko <i>et al.</i> (2017)

Quadro 1 - Relação dos trabalhos que abordaram a icnotaxonomia da Formação Furnas, após o período do advento da icnotaxonomia.

(Conclusão)

Iconotáxons	Unidade estratigráfica	Localidade	Autor
<i>Arenicolites</i> isp., <i>Cylindrichnus</i> isp., <i>Didymaulichnus lyelli</i> , <i>Palaeophycus</i> isp., <i>Rhizocorallium commune</i> , <i>Skolithos</i> isp., <i>Thalassinoides</i> isp.	Superior	Canyon Guartelá, na região de Tibagi (PR) PR-340 Rio São Jorge, na região dos Alagados, Ponta Grossa (PR)	Sedorko <i>et al.</i> (2017)
<i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Thalassinoides</i> isp.,	Inferior	Santuário Santa do Paredão, Jaguariaíva (PR)	Richter <i>et al.</i> (2021b)
<i>Cruziana</i> isp., <i>Didymaulichnus lyelli</i> , <i>Didymauliponomos rowei</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Rusophycus</i> isp., <i>Skolithos</i> isp., <i>Thalassinoides</i> isp.	Média	PR-090, km 165 Santuário Santa do Paredão, Jaguariaíva (PR)	Richter <i>et al.</i> (2021b)

Fonte: O autor.

#### 5.4 ABORDAGEM DA ICNOLOGIA APLICADA A RECONSTITUIÇÕES PALEOAMBIENTAIS

Os estudos icnológicos possuem uma ampla aplicabilidade na geologia sedimentar, como uma ferramenta que propicia informações detalhadas sobre os parâmetros ambientais envolvidos durante a deposição de sedimentos, portanto, servindo de base para análises paleoambientais (BUATOIS; MÁNGANO, 2011). Por possuírem um caráter autóctone, as análises icnológicas concentram-se nos aspectos comportamentais entre as icnoassociações, que fornecem um rico detalhamento da ação da fauna no substrato, fornecendo informações sobre a natureza dos ecossistemas ocupados e os eventos de mudanças paleoambientais, contribuindo significativamente para a compreensão dos aspectos ambientais atuantes no meio



(e.g., EKDALE, 1985; BUATOIS; MÁNGANO, 1993; MÁNGANO; DROSER, 2004; BRENCHLEY; HARPER, 1998; SEILACHER *et al.*, 2005).

A Formação Furnas é caracterizada por relativa uniformidade de litologias (conglomerados na base, arenitos e, muito subordinadamente, pelitos) e de estruturas sedimentares (estratificações cruzadas a plano-paralelas) para toda a bacia (e.g., PETRI; FÚLFARO, 1983; SCHNEIDER *et al.*, 1974), associada a uma rica icnodiversidade, que expressa uma variedade de padrões comportamentais (e.g., FERNANDES, 1996; FERNANDES *et al.*, 2002; SEDORKO *et al.*, 2017). Estes caracteres foram elementos-chave para a interpretação do ambiente deposicional da unidade.

Contudo a Formação Furnas já possibilitou discussões em diferentes vertentes sobre a gênese do sistema deposicional de suas rochas (e.g., fluvial, flúvio-glacial, flúvio-deltaico, deltaico, eólico, estuarino, praiial, marinho-raso), que propiciaram as maiores controvérsias sobre a origem da unidade (ver Quadro 2). As primeiras interpretações sobre sua gênese deposicional derivam de dois modelos distintos, um em ambiente marinho (*sensu*: OPPENHEIN, 1936; CARVALHO, 1941; MAACK, 1947; ALMEIDA, 1954; SANFORD; LANGE, 1960; LANGE; PETRI, 1967) e outro em fluvial (*sensu*: LUDWING; RAMOS, 1965; SCHNEIDER *et al.*, 1974; MELO, 1988; ZALÁN *et al.*, 1987).

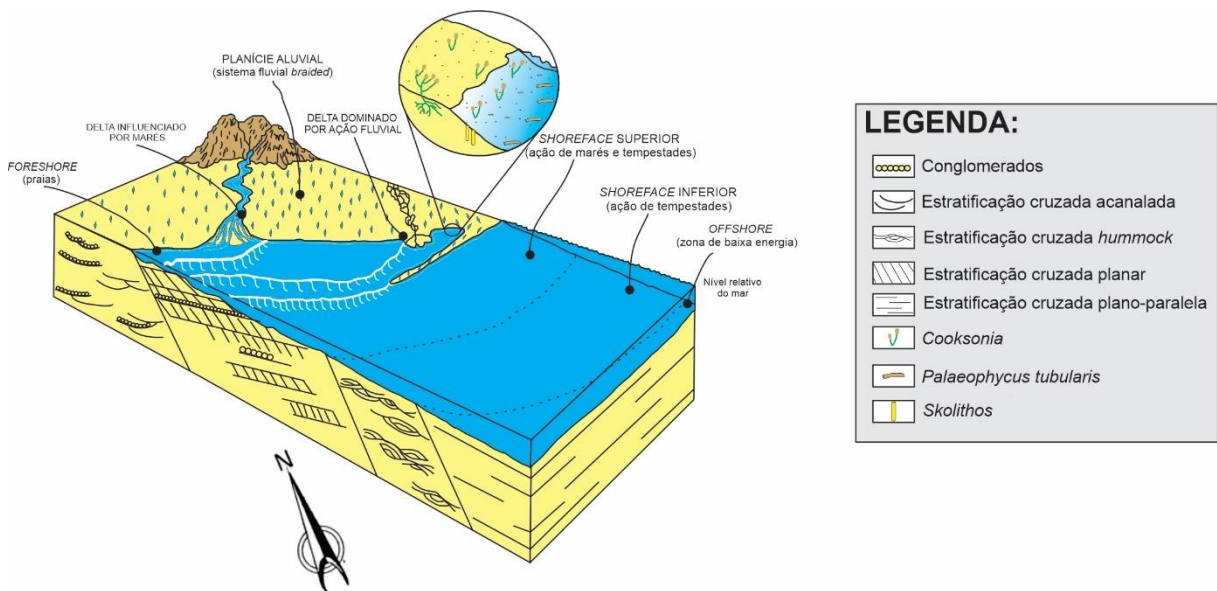
Segundo Bergamaschi (1992), a grande maioria destas interpretações paleoambientais foi baseada em fontes de dados relativamente restritos (e.g., litologia, estruturas sedimentares, estudos de casos isolados em superfície com escassas informações de subsuperfície). Além do mais, grande parte desses trabalhos não integrava dados icnológicos. Deste modo foram postulados diversos modelos generalistas, através de análises metodológicas em nível de escala geral para toda a unidade (Borghini, 1996).

O fator que contribuiu para a dificuldade de uma reconstituição paleoambiental precisa nos depósitos da Formação Furnas, segundo Assine (1999, p. 357), foi a problemática em decorrência da “pobreza de fósseis, da escassez de pelitos intercalados, da grande área de ocorrência e, sobretudo, da inexistência de ambientes análogos modernos”. Outra condição limitante é a inexistência de modelos deposicionais no registro geológico compatíveis com as características faciológicas da unidade (BERGAMASCHI, 1999).

Apesar da Formação Furnas não possuir membros formalmente propostos, contrastes faciológicos na sucessão estratigráfica da unidade ao longo da bacia permitem a subdivisão em três unidades informais na borda leste (PEREIRA; BERGAMASCHI, 1989; BERGAMASCHI, 1992; BORGHI, 1993, 1996; ASSINE, 1996, 1999; BERGAMASCHI, 1999) e noroeste (SCHUBERT, 1994), correlacionáveis entre si, possibilitando um maior detalhamento dos aspectos estratigráficos, faciológicos e icnológicos. A divisão operacional triparte utilizada é a de Assine (1999) que a partir de dados de superfície e subsuperfície e em perfis de raios gama, designou os intervalos da Formação Furnas como unidade inferior, média e superior.

Estes estudos, demonstraram a ocorrência de paleoambientes atribuídos a leques-aluviais e fluviais na base da formação, enquanto, em ascendência, estes sistemas fluviais foram progressivamente substituídos (*i.e.* flúvio-deltáico e deltáico-estuarino) sob influência da ação de marés ou tempestades para paleoambientes marinhos rasos de *shoreface* superior, evidenciados pelo pontual expressão das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana* e fragmentos de plantas para o topo da unidade (Fig. 3).

Figura 3 - Representação da provável interpretação paleoambiental descrita por Bergamaschi (1992).



Fonte: Modificado de Bergamaschi (1992, p. 156)

Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade.

Autor	Interpretação paleoambiental	Relação estratigráfica do topo	Idade assinalada
Oliveira (1912)	—	concordante	Devoniano
Oliveira (1927)	—	concordante	eo-Devoniano
Du Toit (1927) <i>apud</i> Lange e Petri (1967)	—	discordante	neo-Siluriano
Oppenheim (1936)	ambientes estuarinos ou faixas costeiras	concordante	Devoniano
Carvalho (1941)	ambientes estuarinos, eólico e de águas circulantes	discordante	Pré-Devoniano
Maack (1946)	marinho raso e praia ou deltaico	concordante	Devoniano
Maack (1947)	marinho raso com influência glacial	concordante	Devoniano
Petri (1948)	marinho raso	concordante transicional	Devoniano
Maack (1950/1951)	depósitos marinhos transgressivos	concordante-brusco	Devoniano
Caster, (1952) <i>apud</i> Bigarella <i>et al.</i> (1966)	ambiente praial e marinho costeiro	concordante-brusco	Devoniano
Almeida (1954)	depósitos costeiros e neríticos de mar transgressivo	concordante	Devoniano
Sanford e Lange (1960)	marinho raso	concordante-transicional	Devoniano
Ludwig e Ramos (1965)	continental fluvial	concordante-brusco	Devoniano
Lange (1965)	ambiente costeiro e influenciado por ondas e correntes	concordante-brusco	Devoniano
Bigarella <i>et al.</i> (1966)	marinho <i>offshore</i> próximo à linha de costa	concordante-brusco, com diastemas erosionais	Devoniano
Glaser, 1966	Marinho raso epinerítico	—	eo-Devoniano
Barbosa <i>et al.</i> (1966) <i>apud</i> Lange e Petri (1967)	—	concordante	Siluriano

Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade.

(Continuação)

Autor	Interpretação paleoambiental	Relação estratigráfica do topo	Idade assinalada
Lange e Petri (1967)	marinho raso com influência de fortes ondas e correntes	concordante/interdigitado	eo-Devoniano
Bigarella e Salamuni (1967)	marinho raso, próximo à costa influenciado por correntes relativamente fortes	concordante	eo-Devoniano
Petri e Fúlfaro (1967)	marinho raso	concordante	eo-Devoniano
Northfleet <i>et al.</i> (1969)	continental-fluvial	concordante	eo-Devoniano
Fúlfaro (1971)	ambiente predominantemente marinho, com influência de ambientes costeiros mistos em certas seções	concordante	eo-Devoniano
Vieira (1973)	—	concordante gradacional	eo-Devoniano
Bigarella (1973)	ambiente marinho raso, com correntes para W, ortogonais à costa na base da seção e para SSW, paralelas à costa em direção ao topo	discordante, sugere uma inconformidade erosiva	?Ordoviciano/Siluriano
Schneider <i>et al.</i> (1974)	continental-fluvial	concordante	eo-Devoniano
Petri e Fúlfaro (1976)	marinho raso	concordante-transicional	eo-Devoniano
Schneider (1976)	ambiente fluvial "anastomosado" com influência de ambientes transicionais no topo	concordante, brusco no centro e transicional nos bordos da bacia	eo-Devoniano

Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade.

(Continuação)

Autor	Interpretação paleoambiental	Relação estratigráfica do topo	Idade assinalada
Fúlfaro <i>et al.</i> (1980) <i>apud</i> Diniz (1985)	marinho raso, com presença de depósitos deltaicos entre SP e PR	concordante/interdigitado	eo-Devoniano
Andrade e Camarço (1980)	deposição através de um sistema fluvial "anastomosado", com influência marinha na base	concordante-transicional no centro da bacia com pequenos diastemas no bordo	eo-Devoniano
Burjack e Popp (1981)	—	—	eo-Siluriano (GO)
Andrade e Camarço (1982)	sistema fluvial "anastomosado" com influência marinha na base	discordante	Siluriano
Gama Jr. <i>et al.</i> (1982)	—	concordante e diacrônica	eo-Devoniano
Petri e Fúlfaro (1983)	ambiente marinho costeiro com incidência de fortes correntes de maré	concordante/interdigitado	eo-Devoniano
Caputo e Crowell (1985)	depósito de <i>outwash</i> em uma franja periglacial	discordante	Siluriano
Diniz (1985)	depósitos litorâneos ou flúvio-deltaicos na porção superior em subsuperfície na sub-bacia Sul	concordante-transicional	eo-Devoniano
Popp e Barcellos-Popp (1986)	fluvial "braided" com influência de ambientes transicionais no topo	concordante-transicional	eo-Devoniano

Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade.

(Continuação)

Autor	Interpretação paleoambiental	Relação estratigráfica do topo	Idade assinalada
Aceñolaza e Ciguel (1987)	ambiente litorâneo, intermarés, icnofácies <i>Skolithos</i>	discordante	Ordoviciano/Siluriano
Melo (1988)	extensa planície aluvial, sistema fluvial <i>braided</i> com depósitos transicionais nas porções mais distais do sistema	concordante-brusco	eo-Devoniano
Zalán <i>et al.</i> (1987)	deposição através de um vasto fluvial "anastomosado", sem qualquer evidência marinha nos afloramentos	discordante, sugerem hiato de 10 Ma entre as unidades	neo-Siluriano/eo-Devoniano
Rodrigues <i>et al.</i> (1989)	ambiente fluvial <i>braided</i> para o topo da seção na região de Ponta Grossa	concordante	eo-Devoniano
Zálan (1989)	depósitos regressivos, eminentemente continentais	discordante	neo-Siluriano
Petri (1989)	caráter mais continental na base, tendendo para marinho no topo	concordante	eo-Devoniano
Zalán <i>et al.</i> (1991)	—	discordante	neo-Siluriano
Bergamaschi (1992; 1994)	fluvial entrelaçado à base, depósitos transicionais e depósitos costeiros para o topo ( <i>shoreface</i> superior e <i>foreshore</i> )	concordante	eo-Devoniano

Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade.

(Continuação)

Autor	Interpretação paleoambiental	Relação estratigráfica do topo	Idade assinalada
Pereira (1992; 1995)	sistemas fluviais à base, sistema continental transicional e depósitos de <i>shoreface</i> e proximal/distal <i>inner shelf</i> para o topo	—	eo-Devoniano
Borghi (1993; 1996)	costeiro / marinho raso sob ação de tempestades	discordante ao menos em caráter local na borda Leste	Pridoli? – eo-Devoniano; praguiana no topo
Saes <i>et al.</i> (1993)	base sistema fluvial entrelaçado seguido por depósitos de <i>sandwaves</i> de marés em uma plataforma marinha rasa com evidências de retrabalhamento esporádico por ondas de tempestades	—	Siluro-Devoniano
Assine <i>et al.</i> (1994)	sistemas de deltas construídos por rios entrelaçados retrabalhados pelas ondas e marés	gradacional	eo-Devoniano
Milani <i>et al.</i> (1994)	ambiente fluvial com influência marinha, depósitos transicionais e costeiros para o topo	gradacional	eo-Devoniano; praguiana no topo
Schubert (1994; 1995)	sistema deposicional marinho com subida contínua do nível do mar/contém eólico	concordante	eo-Devoniano

Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade.

(Continuação)

Autor	Interpretação paleoambiental	Relação estratigráfica do topo	Idade assinalada
Assine (1995)	—	concordante dentro da bacia e discordante nas áreas menos subsidentes das bordas originais da bacia devoniana ou em altos internos sinsedimentares	Devoniano
Alvarenga e Guimarães (1995)	fluvial	discordante (GO)	—
Coimbra <i>et al.</i> (1995)	fluvial entrelaçado (MS)	—	—
Dino e Rodrigues (1995)	depósitos transicionais no topo da seção na região de Jaguariaíva PR	concordante brusco	eo-Devoniano; praguiana no topo (PR)
Milani <i>et al.</i> (1995)	plataforma arenosa de depósitos principalmente fluviais, retrabalhados eventualmente por ondas de oceano aberto	gradacional	eo-Devoniano
Rodrigues <i>et al.</i> (1995)	depósitos transicionais no topo da seção na região de Jaguariaíva, PR	concordante brusco	eo-Devoniano no topo
Assine (1996)	tratos de sistema transgressivo (base), mar alto (meio) e mar baixo/transgressivo (topo)	transicional	Lochkoviano



Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade.

(Continuação)

Autor	Interpretação paleoambiental	Relação estratigráfica do topo	Idade assinalada
Assine e Petri (1996)	trato de sistema transgressivo (base), mar alto (meio), e mar baixo/transgressivo (topo)	contato diácrono, sem interdigitação	Lochkoviano/Praguiano
Mussa <i>et al.</i> (1996)	base sistema fluvial entrelaçado, progressivamente afogado por um sistema marinho, resultando no desenvolvimento de um ambiente do tipo <i>braided</i> delta	gradacional	eo-Devoniano
Pereira e Bergamaschi (1996)	fluvial entrelaçado e <i>braided</i> delta	"limite de parassequências"	eo-Devoniano
Borghi (1997)	topo marinho costeiro sujeito à ação de ondas normais e tempestades, antepraia para o estirâncio	discordância relacionada a um limite de seqüências de tipo 2, <i>sensu van Wagoner et al.</i> , 1988	eo-Devoniano; praguiana no topo
Assine <i>et al.</i> (1998)	—	concordante na parte sul da bacia; discordante em Goiás e em altos internos sinsedimentares	eo-Devoniano
Pereira <i>et al.</i> (1998)	fluvial (base) e <i>braided</i> delta	concordante, abrupto	eo-Devoniano; praguiana no topo (PR)
Assine (1999)	fluvial e costeiro (base), marinho raso de costa-afora dominado por marés (meio), marinho raso (topo)	Concordante, transicional	Lochkoviano

Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade.

(Continuação)

Autor	Interpretação paleoambiental	Relação estratigráfica do topo	Idade assinalada
Pereira (2000)	fluvial (base), <i>braided</i> delta (meio) e fluvial a <i>shoreface</i> superior (topo)	concordante (superfície de transgressão)	Ludlow-Lochkoviano (S/D)
Bergamaschi e Pereira (2001)	litorâneo/estuarino a mar raso (base e meio) e transicional ( <i>braided</i> delta) e litorâneo (topo)	superfície de ravinamento produzido por ondas durante transgressões	Pridoliano/Lochkoviano
Lobato e Borghi (2005)	sistemas flúvio deltaico entrelaçados à base, sistema deltaicol transicional no meio e marinho raso para o topo	—	—
Grahn <i>et al.</i> (2010)	—	superfície de ravinamento gerada na transgressão entre o final do Praguiano e o Eo-Emsiano	Pridoliano/Lochkoviano no topo
Araujo (2016)	sistema fluvial entrelaçado constituída por depósitos de barras resultante da migração dos canais.	—	—
Sedorko <i>et al.</i> (2017)	ambiente marinho raso dominado por ondas de maré	—	Siluriano inferior unidades inferior e média e Devoniano inferior unidade superior

Quadro 2 - Relação dos trabalhos que abordaram a Formação Furnas, destacando as interpretações paleoambientais, contato litoestratigráfico e idade da unidade.

(Conclusão)

Autor	Interpretação paleoambiental	Relação estratigráfica do topo	Idade assinalada
Martins <i>et al.</i> (2018)	fluvial	—	Devoniano Inferior
Garcia Vasconez (2019)	sistema de canais de barras fluvias em sistemas entrelaçados na unidade média na seção Canyon Guartelá	—	—
Richter <i>et al.</i> (2021b)	marinho raso do <i>foreshore</i> ao <i>shoreface</i> inferior	—	Siluriano Inferior ao Devoniano Inferior

Fonte: modificado e ampliado a partir de Bergamaschi (1992).

Por fim, Borghi (1993; 1994a) descreveu onze litofácies (rudíticas, arenáceas e pelíticas), duas icnofácies *Skolithos* e *Cruziana* e uma biofácies (paleoflora) para a Formação Furnas. A identificação das assinaturas icnofaciológicas apontam para deposição marinha ou costeira próximo à costa (MACEACHERN *et al.*, 2007), sendo base para estudos posteriores que atestariam um ambiente marinho raso de deposição para os níveis com a presença dos icnofósseis. A caracterização das fácies e a divisão litoestratigráfica informal possibilitaram a interpretação paleoambiental para os depósitos da Formação Furnas como predominantemente marinho raso (*sensu*: BORGHI, 1993; FERNANDES, 1996; ASSINE, 1996, 1999; BERGAMASCHI, 1999; SEDORKO *et al.*, 2017).

Portanto, o levantamento histórico aqui apresentado demonstra que a mera identificação de um icnofóssil, ou uma nova ocorrência em determinada área ou unidade, são abordagens remanescentes de uma Paleontologia Sistemática que atualmente não faz mais sentido, pois pouco ou nada agrega para análises paleoecológicas e paleoambientais. Registrar a presença de icnofósseis em uma unidade ou coleção é como registrar a ocorrência de estruturas primárias (por exemplo, estratificação cruzada ou laminação plano-paralela) em determinado depósito. Deve-se buscar compreender que comportamento esteve envolvido na produção da estrutura, qual o significado das morfologias observadas e como aplicar esta informação em uma análise faciológica. A Icnologia, atualmente, é uma ciência

aplicada, e como tal possui abordagens integradas e mais complexas do que apenas nomear coisas. Para um panorama expandido, como introdução aos mais diversos métodos e aplicações da Icnologia, consultar Buatois e Mángano (2011) e Knaust e Bromley (2012).

#### 5.4.1 Unidade inferior

Encontra-se disposta imediatamente acima da discordância com as unidades subjacentes, em contatos planos e bem definidos, apresentando maior resistência à erosão. Faciologicamente, engloba uma associação de arenitos médios a muito grossos, por vezes conglomeráticos, e, menos frequentemente, médio ou fino (ASSINE, 1996). Bergamaschi (1999) mencionou que o intervalo é portador dos mais variados tipos de estruturas sedimentares, descrevendo a presença de estratificações cruzadas planares, mas também a ocorrência de cruzadas por onda, laminações cruzadas cavalgantes (*climbing ripples*), estratificações plano-paralelas e estratificações cruzadas do tipo espinha de peixe (*herringbone cross-stratification*). As estruturas sedimentares biogênicas pertencentes à icnofácies *Cruziana*, paralelas ao acamamento, são registradas (FERNANDES, 1996). No entanto, icnoassociações da icnofácies *Skolithos* também ocorrem raramente em arenitos conglomeráticos, sendo um componente subordinado em arenitos portadores de estratificações cruzadas acanaladas e planares (SEDORKO *et al.*, 2017).

O cenário de ambiente marinho dominado pela ação de ondas de maré foi discutido em trabalhos anteriores (LANGE, 1965; BIGARELLA; SALAMUNI, 1967; LANGE; PETRI, 1967; PETRI; FÚLFARO, 1983), destacando Borghi (1993) que considerou um cenário paleoambiental, válido para toda a Formação Furnas, como uma plataforma marinho-rasa associada a praias de alta energia em uma costa rudácea ou arenácea onde se preservaram fácies depositadas sob a ação dominante de marés, reafeiçoadas pelas tempestades (BORGHI, 1994b).

Assine (1996, 1999) evidenciou um predomínio faciológico conglomerático e de arenitos médios a muito grossos, indicando a influência de um ambiente marinho litorâneo na parte inferior da unidade marcado pelo retrabalhamento dos sedimentos sob planícies aluviais costeiras. Fato corroborado pela presença de icnofósseis sub-horizontais (entretanto não os menciona) ao plano de acamamento a menos de 3 m

do contato com o embasamento, em meio a arenitos conglomeráticos e conglomerados, posteriormente indicados por Sedorko *et al.* (2017).

Bergamaschi (1999), com base nas observações apresentadas por Borghi (1993), reavaliou as suas interpretações (*i.e.* BERGAMASCHI, 1992), reconsiderando o contexto faciológico predominante para a base da formação, sendo associada pelo predomínio de feições conglomeráticas e arenitos grossos exibindo estruturas sedimentares físicas e biogênicas, sendo registrados escavações paralelas ao acamamento de diversos icnogêneros pertencentes à icnofácies *Cruziana*, apontando uma provável deposição a partir de um sistema litorâneo a marinho-costeiro de *shoreface* afetado por fortes ondas e correntes.

#### 5.4.2 Unidade média

Compreende as fáceis do intervalo intermediário da formação, apresentando uma diminuição na incidência e espessura dos corpos conglomeráticos, bem como uma ligeira diminuição granulométrica dos corpos de arenito, predominando a granulometria média (BERGAMASCHI, 1999). Segundo Assine (1996, 1999) muitas vezes os litotipos gradam para intercalações de delgadas camadas de siltitos e/ou folhelhos brancos a verdes claros, frequentemente ricos em muscovitas, podendo conter icnofósseis da icnofácies *Cruziana* (FERNANDES, 1996; SEDORKO *et al.*, 2017) e localmente podem incluir suítes da icnofácies *Skolithos* (SEDORKO *et al.*, 2017).

Segundo Assine (1996; 1999) as litofácies descritas são interpretadas como produto de deposição em ambientes marinhos dominados por marés (condições de inframaré), com a ação de correntes oblíquas a paralelas à linha de costa. A unidade média é caracterizada por icnofósseis pertencentes à icnofácies *Cruziana* apoiados na presença de traços de trilobitas (ASSINE; GÓIS, 1996). A presença dos icnofósseis associados aos sedimentos mais finos, materializam períodos de menor energia, com diminuição acentuada ou mesmo paradas temporárias no transporte sedimentar.

Bergamaschi (1999) caracterizou o cenário ambiental das associações faciológicas da unidade média num contexto deposicional de comportamento bastante dinâmico predominando arenitos médios, com intercalações de pelitos, associado a presença de icnofósseis da icnofácies *Cruziana*, cuja interpretação faciológica remete a um registro de um sistema litorâneo/costeiro. Em suas camadas superiores há uma

ocorrência de fácies de arenito grosso a muito grosso, conglomerático, provavelmente de um sistema costeiro de *shoreface* superior de maior energia.

#### 5.4.3 Unidade superior

Caracteriza-se pelo incremento de níveis conglomeráticos e por uma tendência ao aumento da granulometria dos arenitos variando de médios a muito grossos (BERGAMASCHI, 1999). Assine (1996) destacou que a parte superior da Formação Furnas, localmente, engloba feições de arenitos muito finos com estratificação cruzada *hummocky*, com macrofósseis de plantas vasculares na porção mais superior (*sensu*: PETRI, 1948; BIGARELLA *et al.*, 1966; RODRIGUES *et al.*, 1989; MUSSA; BORGHI, 1993; BOLZON *et al.*, 1994; MUSSA *et al.*, 1996; 2002; GERRIENNE *et al.*, 2001; MILAGRES *et al.*, 2007; GONEZ; GERRIENNE, 2010). Associados a esses níveis, ocorrem raras fácies heterolíticas, com palinomorfos cujo conteúdo permitiu a inserção do topo da unidade superior no Devoniano Inferior (*sensu*: DINO; RODRIGUES, 1995; DINO *et al.*, 1995; LOBOZIAK *et al.*, 1995; GRAHN *et al.*, 2010; 2013). A maioria das litofácies nesta unidade é fracamente bioturbada, contendo vestígios da assembleia de icnofósseis representantes das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana* proximal (FERNANDES, 1996; SEDORKO *et al.*, 2017).

Assine (1996; 1999) descreveu que o aumento da granulometria, evidenciado pelos arenitos médios a muito grossos, onde são encontradas contínuas superfícies de seixos, atesta para um ambiente mais energético. O autor propôs que os depósitos residuais de seixos (*lags*), encontrados na área de estudo, foram formados por processos de erosão marinha conhecido como joeiramento (*winnowing*), resultado da ação de ondas de tempestade. Sem detalhar a icnofauna presente nos estratos superiores da formação, o autor descreveu uma predominância de estruturas verticais, dado também indicado por Netto *et al.* (2014) e Sedorko *et al.* (2017).

Bergamaschi (1999) em observações nas PR-151, BR-376 e nas localidades de PISA e Jackson de Figueiredo descreveu associações de arenitos médios a muito grossos, sugerindo depósitos marinho-costeiros, litorâneos e transicionais reconhecidos com uma tendência regressiva. Estes depósitos ainda registram macrofósseis de plantas que habitavam ambientes transicionais-costeiros. Por fim, o autor mencionou associações de icnofósseis (*i.e.* *Cylindrichnus*, *Lockeia*, *Monocraterion* e *Skolithos*) da icnofácies *Skolithos* presente em paleoambientes

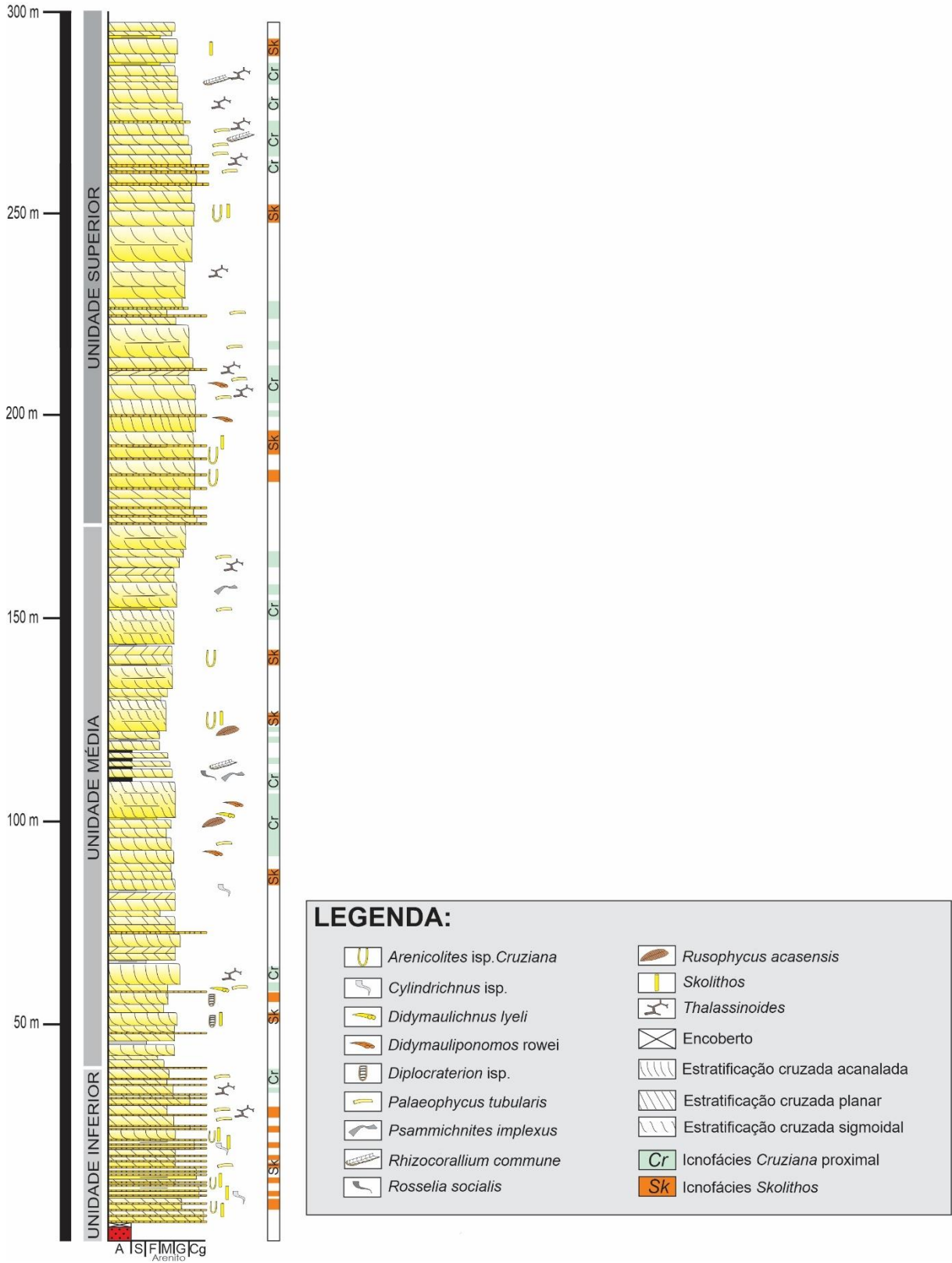
litorâneos e sublitorâneos de alta energia (e.g., PEMBERTON *et al.*, 1992; MACEACHERN *et al.*, 2007).

A incorporação das pesquisas icnológicas sobre os depósitos da Formação Furnas, teve papel fundamental de auxílio para a reconstituição paleoambiental da unidade (e.g., ACEÑOLAZA; CIGUEL, 1986; BORGHI, 1993; ASSINE; GÓIS, 1996; ASSINE, 1996; BERGAMASCHI, 1999). Segundo Fernandes (1996), o reconhecimento do conteúdo icnofossilífero distribuído nas icnofácies *Skolithos* e *Cruziana* possibilitou atestar um sistema deposicional marinho raso para os intervalos que contêm icnofósseis.

Estas icnofácies estão bem distribuídas em toda a Formação Furnas (SEDORKO *et al.*, 2017). As icnoassociações da icnofácies *Cruziana* são mais frequentes entre a unidade inferior e média, enquanto que a icnofácies *Skolithos* é mais frequente nos níveis mais superiores da formação (FERNANDES, 1996) (Fig. 4). De acordo com MACEACHERN *et al.* (2007), estas icnofácies refletem ambientes litorâneos de alta energia até aqueles de plataforma marinha rasa.

Em resumo, os conjuntos de dados evidenciados pela Icnologia e a Sedimentologia a partir das informações da literatura (e.g., BORGHI, 1993; ASSINE; GÓIS, 1996; ASSINE, 1996, 1999; FERNANDES, 1996; BERGAMASCHI, 1999; NETTO *et al.*, 2014; SEDORKO *et al.*, 2017) sugerem que a deposição da Formação Furnas ocorreu a partir de um sistema litorâneo nos níveis mais inferiores que retrabalhou sedimentos aluviais a fluviais, e que foram afogados por fácies de *foreshore* a *shoreface* influenciado por marés. Este sistema litorâneo caracterizado por depósitos praias rudáceos, nas áreas em que o aporte fluvial foi intenso o suficiente para suplantar o retrabalhamento litorâneo, pode ainda preservar contextos progradacionais localizados (BERGAMASCHI, 1999).

Figura 4 - Seção colunar no Canyon Guartelá como exemplo de distribuição dos icnofósseis na Formação Furnas; observar a presença de icnofósseis desde os níveis mais basais da unidade.



Fonte: Modificado de Sedorko *et al.* (2017).



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados da pesquisa, de modo descritivo, seguidos da discussão destes dados.

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E ICNOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO

Com base em descrições detalhadas de campo para o intervalo do Siluriano Inferior da Bacia do Paraná, objetivando a caracterização do paleoambiente das unidades inferior e média da Formação Furnas nas regiões dos municípios de Jaguariaíva no Santuário Santa do Paredão (24°21'39.3"S, 49°36'33.4"W) e Piraí do Sul PR-090, km 165 (24°29'05"S, 50°00'10"W) (Fig. 5A/B), a partir de análises icno-sedimentológicas, foram reconhecidas sete litofácies e uma icnofácies (Tabela 2). As distribuições estratigráficas das litofácies e os icnofósseis associados nas localidades de estudo estão apresentadas na Figura 6.

#### 6.1.1 Unidade Inferior

A unidade inferior exposta na base da seção Santuário Santa do Paredão na região do município de Jaguariaíva, compreende aproximadamente 30 m de espessura. É constituída predominantemente por arenitos médios a grossos, localmente conglomeráticos de geometria tabular e com estratificações cruzada de baixo ângulo (Sl; Fig. 5D) ou com estratificações horizontais (Ss; Fig. 5F) e maciço (Sm; Fig. 5C). Arenito muito fino a fino com *ripples* assimétricas (Sr; Fig. 5H) e siltito maciço, localmente com laminação plano paralela (Fsm; Fig. 5I) ocorrem de forma subordinada.

#### 6.1.2 Unidade Média

A unidade média, representada nas duas as seções analisadas, compreende cerca de 37 m de espessura no Santuário Santa do Paredão, e 4,7 m na PR 090, km 165. Dentre as litofácies, ocorrem arenitos de granulação fina a muito grosso com estratificações cruzadas acanaladas (St; Fig. 5F), estratificações cruzadas de baixo

ângulo (Sl; Fig. 5D), laminações plano-paralelas (Sh; Fig. 5E) ou estratificações horizontais ( fácies Ss; Fig. 5F) e arenitos de aspecto maciço ( fácies Sm; Fig. 5C). Estão presentes camadas de siltito maciço com pacotes lenticulares de arenito fino a grosso (Fsm; Fig. 5I).

Tabela 2 - Fácies sedimentares e características da área de estudo.

Código	Litologia	Estruturas sedimentares	Ícnofósseis	Fig.
Sm	Arenito com seixos de granulação grossa	Maciço	<i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Thalassinoides</i> isp.	5C
Sl	Arenito de granulação grosso com grânulos de quartzo	Estratificação cruzada de baixo ângulo	Ausente	5D
Sh	Arenito de granulação fina a muito fino	Estratificação/laminação plano-paralela	<i>Didymaulicnhus lyelli</i> , <i>Didymauliponomos rowei</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Skolithos</i> isp., <i>Thalassinoides</i> isp.	5E
St/Ss	Arenito de granulação fino a médio localmente muito fino	Estratificação cruzada acanala/horizontais	<i>Cruziana</i>	5F
Sp	Arenito de granulação médio a grosso	Estratificação cruzada planar	<i>Palaeophycus tubularis</i>	5G
Sr	Arenito médio gradando para muito fino	<i>Wave Ripples</i>	Ausente	5H
Fsm	Siltito maciço localmente fino	Maciço	<i>Heimdallia chatwini</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Rusophycus</i> isp., <i>Taenidium dieslingi</i> ,	5I

Fonte: O autor.

## 6.2 DESCRIÇÃO DAS ICNOFÁCIES E ICNOFÓSSEIS

Nove icnotáxons foram reconhecidos entre as unidades inferior e média da Formação Furnas, representadas nas seções Santuário Santa do Paredão e PR 090, km 165 (Fig. 6), sendo quatro em nível de icnogênero e cinco icnoespécies. As icnoassociações evidenciaram a presença de um ou mais icnotáxons na mesma camada e localmente algumas formas transicionais. As assembleias icnofossilíferas recorrentes levaram à identificação das expressões proximal e empobrecida da icnofácies *Cruziana*.

### 6.2.1 Icnofácies

As icnoassociações possibilitaram atribuição de duas expressões da icnofácies *Cruziana* representadas pelo predomínio de estruturas horizontais produzidas por organismos detritívoros ou por atividade de locomoção (SEDORKO *et al.*, 2017). A unidade inferior caracterizada pela icnofácies *Cruziana* proximal preservou menores taxas de atividade biogênica (Bioturbation Scale - BS1) e icnodiversidade associadas a ocorrências de *Palaeophycus tubularis* e *Thalassinoides* isp., pontualmente presentes nas fácies (Sm e Sp; Fig. 5C/G). Nestes níveis se infere que a alta energia hidrodinâmica foi fator limitante para a colonização do substrato pela infauna, podendo ainda ter removido estruturas em *tiers* rasos.

Entre as seções da unidade média a icnofácies *Cruziana* empobrecida apresenta maior variação na densidade de bioturbação (BS0–5) e maior icnodiversidade, com a presença de *Cruziana* isp., *Didymaulichnus lyelli*, *Didymauliponomos rowei*, *Heimdallia chatwini*, *Palaeophycus tubularis*, *Rusophycus* isp., *Skolithos* isp., *Taenidium dieslingi*, e *Thalassinoides* isp., estando preservados nas fácies (Sh, St e Fsm; Fig. 5E/F/I). Refletindo a colonização em ambientes de menor energia, mas ainda em contexto raso, evidenciados pela variabilidade de categorias etológicas (*i.e.* Repichnia, Cubichnia, Domichnia e Fodichnia).

## 6.2.2 Descrição dos icnofósseis

### Ichnogênero *Cruziana* d'Orbigny, 1842

**Amostras:** *In situ*.

**Localização:** Santuário Santa do Paredão.

**Descrição:** Escavações simétricas bilobadas e alongadas com cristas mediais em epirelevo negativo. As estruturas têm tipicamente de 8 a 63,5 cm de comprimento com largura entre 1,8 a 2,25 cm. Os sulcos da crista medial possuem de 1,0 mm a 2,0 mm de largura (Fig. 7A/B/C). Entretanto, ausência de uma maior disponibilidade de detalhes diagnósticos (*e.g.*, *scratch*), em virtude de sua má preservação, impossibilitou atribuição em nível de icnoespécie.

**Observações:** Amplamente distribuído em depósitos sedimentares desde o Cambriano Inferior ao Triássico Superior (ZONNEVELD *et al.*, 2002), com as formas paleozoicas ocorrendo em ambientes marinhos de águas rasas. Os produtores de *Cruziana* geralmente estão atribuídos a trilobitas (GOLDRING, 1985; FORTEY; SEILACHER, 1997), refletindo atividades de locomoção epi ou intraestratal no substrato (Repichnia; BROMLEY, 1996).

### Ichnoespécie *Didymaulichnus lyelli* Rouault, 1850

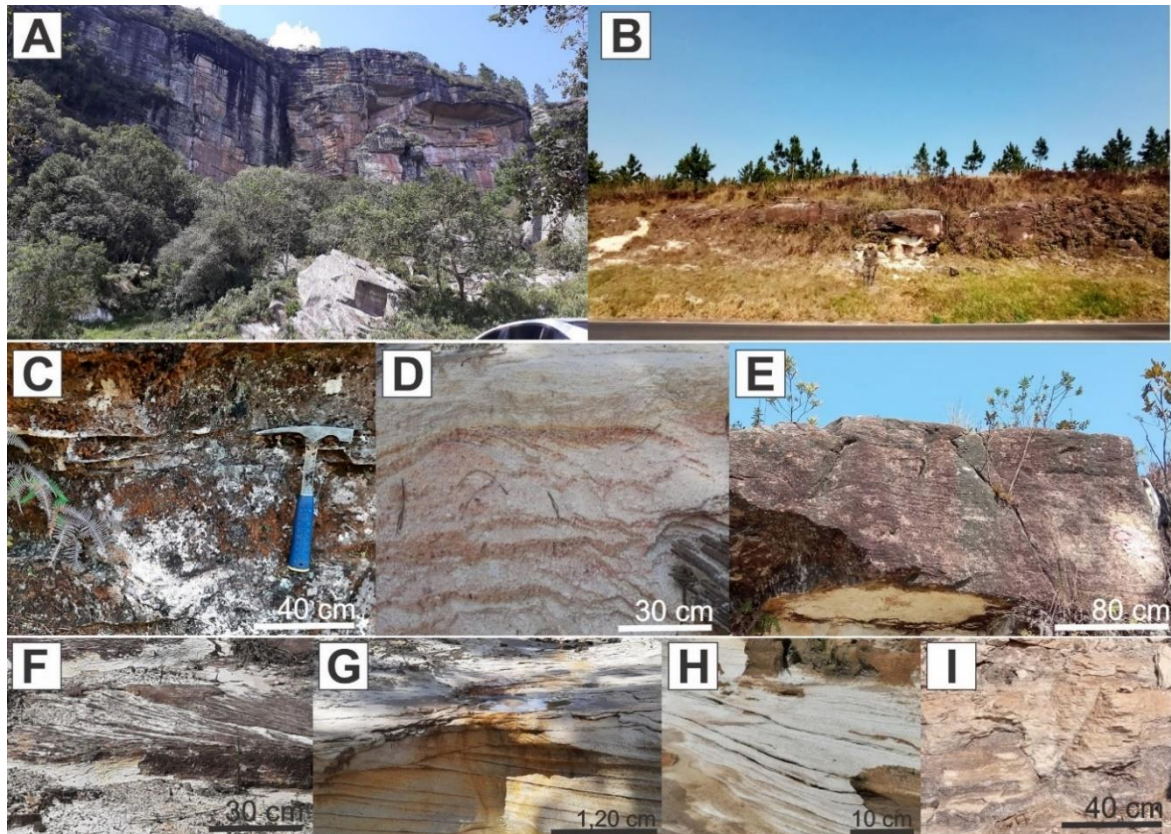
**Amostra:** *In situ* e MPI – 15968.

**Localização:** Santuário Santa do Paredão e PR-090, Km 165.

**Descrição:** Pistas bilobadas lisas, sem ornamentações preservadas em epirelevo negativo e hiporelevo positivo, separada longitudinalmente por uma estreita crista mediana. As estruturas variam entre 6 a 10 cm de comprimento com uma largura de 2 cm (Fig. 7D/G/J/I e 8A).

**Observações:** *Didymaulichnus* está presente em estratos paleozoicos, associados a vestígios de locomoção (Repichnia; BUATOIS; MÁNGANO, 2011) atribuídos à atividade de moluscos (*i.e.*, gastrópodes; GLAESSNER, 1969) devido à falta de estriações decorrente da ausência de apêndices locomotores dos organismos geradores das pistas (YOUNG, 1972). Entretanto, Crimes (1970) e Brasdshaw (1981) observaram estriações em forma de V aventando a possibilidade dessas pistas também serem produzidos por formas jovens de trilobitas.

Figura 5 - Fácies sedimentares da Formação Furnas (ver Tabela 2). A-B Vista dos afloramentos Santuário Santa do Paredão e PR-090, Km 165. C. Arenito maciço com seixos de granulação grossa (fácies Sm). D. Arenito grosso com estratificação cruzada de baixo ângulo (fácies Sl). E. Arenito fino com estratificação/laminação plano-paralela (fácies Sh). F. Arenito médio com estratificação cruzada acanalada (fácies St). G. Arenito médio a grosso com estratificação planar (fácies Sp). H. *Wave ripples* em arenito médio para muito fino (fácies Sr). I. Siltito maciço localmente fino (fácies Fsm).



Fonte: O autor.

Ícnoespécie *Didymauliponomos rowei* Bradshaw, 1981

**Amostra:** MPI – 15703.

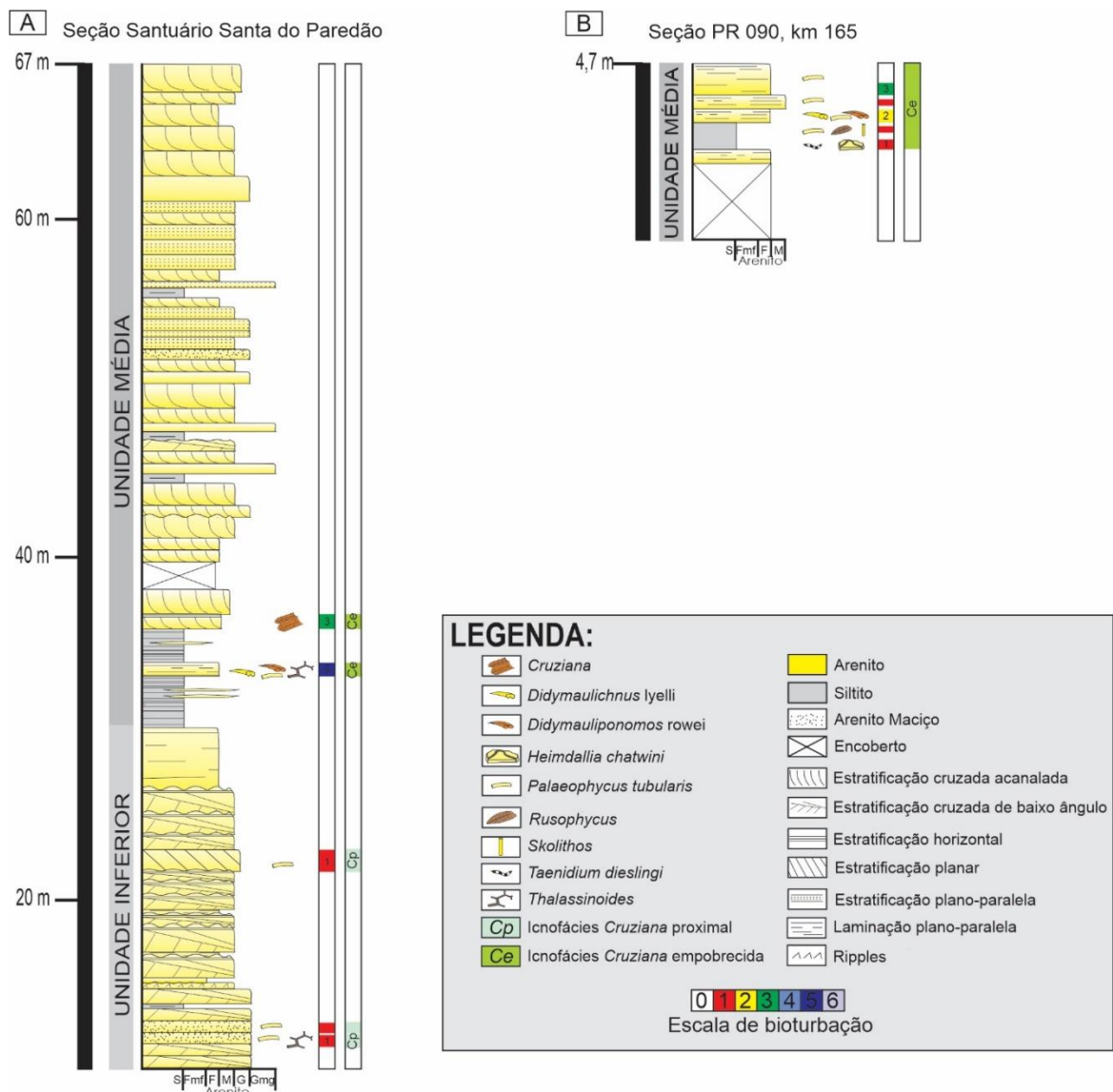
**Localização:** Santuário Santa do Paredão e PR-090, Km 165.

**Descrição:** Pistas longas de base bilobada retas a levemente sinuosas e com paredes lisas, não ramificadas e sem ornamentações, com sulcos medianos em suas partes inferiores e topo unilobado. A largura média apresentada é de 2 cm e chegando a um comprimento de 6 cm (Fig. 8B).

**Observações:** *Didymauliponomos* resulta da atividade de alimentação (Fodichnia) e habitação (Domichnia) pela atividade de artrópodes endobentônicos, distribuídos em

depósitos sedimentares do Siluriano ao Devoniano (BRADSHAW, 1981). Buatois *et al.* (2017) descrevem esses traços como “tocas horizontais passivamente preenchidas”, semelhante ao *Palaeophycus*.

Figura 6 - Seção colunar com da distribuição das litofácies, icnotáxons ocorrentes, das icnofácies e índice de bioturbação.



Fonte: O autor.

Icnoespécie *Heimdallia chatwini* Bradshaw, 1981

**Material:** MPI – 15972.

**Localização:** PR-090, Km 165.

**Descrição:** Estruturas verticais ao plano de acamamento do tipo de sustentação por *spreiten* que aparecem na visão do plano de estratificação como fitas não ramificadas formadas por pacotes verticais ou inclinados passando abruptamente para um tubo basal horizontal (BUCKAMAN, 1996). Ocorrência no plano de acamamento; as estruturas de *spreiten* não são visíveis em virtude da qualidade da amostra. Apresenta largura de 2,1 cm e comprimento de 2,5 cm (Fig. 8C).

**Observações:** *Heimdallia* restrita aos estratos do Ordoviciano Superior ao Carbonífero Inferior, principalmente em ambientes marinhos (BUATOIS; MÁNGANO, 2011). As pistas resultam de atividades de alimentação (Fodichnia) produzidas por crustáceos (BRADSHAW, 1981; FILLION; PICKERILL, 1990; Fig. 10B).

#### Ícnoespécie *Palaeophycus tubularis* Hall, 1847

**Material:** *In situ* e MPI - 15974.

**Localização:** Santuário Santa do Paredão e PR-090, Km 165.

**Descrição:** Escavações longas intraestratais retas a levemente curvadas, em epi-relevo negativo, dispostas horizontalmente ao plano de estratificação e na maioria dos casos desprovidas de preenchimento. Possuem uma largura média de 1,5 cm e de comprimentos variáveis (Fig. 7E/J/I e 8D).

**Observações:** *Palaeophycus* são amplamente distribuídos ao longo de todo o Fanerozoico (KNAUST, 2017). Interpretados comumente como atividades de habitação (Domichnia) por organismos de hábitos predatórios ou suspensívoros (PEMBERTON; FREY, 1982).

#### Ícnogênero *Rusophycus* Hall, 1852

**Material:** MPI – 15963.

**Localização:** PR-090, Km 165.

**Descrição:** Estruturas bilobadas simétricas e ovaladas preservadas em epi-relevo convexo. O espécime tem entre 2,5 cm de largura e 5,5 cm de comprimento (Fig. 8E). Assim como a ocorrência das *Cruziana*, o grau de preservação da amostra não permite uma maior disponibilidade de detalhes diagnósticos (e.g., *scratch*), impossibilitando atribuição a nível de ícnoespécie.

**Observações:** *Rusophycus* reflete padrões comportamentais associadas às atividades de repouso (Cubichnia), realizadas por artrópodes, em ambientes marinhos presumivelmente por trilobites (SEILACHER, 2007).

#### Ícnogênero *Skolithos* Haldeman 1840

**Material:** MPI – 15960.

**Localização:** PR-090, Km 165.

**Descrição:** Escavação verticalizada em relação à estratificação, simples e cilíndrica e apresentando o comprimento maior que a largura. O diâmetro médio é de 0,5 cm e apresenta profundidade de 0,4 cm (Fig. 8F).

**Observações:** *Skolithos* estão relacionados a vestígios de habitação e alimentação por suspensão e/ou predação (Domichnia). Encontrado em praticamente todos os tipos de ambiente, desde o marinho ao terrestre (ALPERT, 1974).

#### Ícnoespécie *Taenidium dieslingi*, Unger 1850

**Material:** MPI – 15979.

**Localização:** PR-090, Km 165.

**Descrição:** Escavação cilíndrica sem paredes, não ramificada, reto a levemente curvo, contendo um preenchimento em forma de menisco. O espécime possui 1 cm de comprimento e 0,4 mm de largura (Fig. 8G).

**Observações:** *Taenidium* são elementos comuns em depósitos marinhos associados a icnofácies *Cruziana* (BROMLEY *et al.*, 1999, BOSETTI *et al.*, 2021), interpretados como tocas produzidas por uma combinação de variados tipos comportamentos de alimentação, locomoção e habitação (Fodichnia; HEMBREE; HASIOTIS 2008).

#### Ícnogênero *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

**Material:** *In situ*.

**Localização:** Santuário Santa do Paredão.

**Descrição:** Escavações ramificadas em forma de Y, com redes horizontais e paredes lisas no plano de estratificação, preservadas em epirelevo convexo; possuem um



alargamento nos cruzamentos entre alguns ramos, variando de 2 cm a 3 cm a largura média dos tubos é 2 cm com comprimentos variados (Fig. 7F/G/J/I).

**Observações:** *Thalassinoides* é comumente reportado em todo o Fanerozoico (MYROW, 1995). A sua ocorrência é atribuída a uma gama de ambientes marinhos marginais a até profundos (MONACO *et al.*, 2009), as estruturas evidenciam a atividade de habitação (*Domichnia*) em extensos sistemas de escavações produzidos por organismos de hábito suspensívoros (GRIFFIS; SUCHANEK, 2009).

### 6.3 INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

As evidências sedimentológicas e icnológicas obtidas nas seções analisadas (Fig. 6) apoiam a interpretação do contexto deposicional da Formação Furnas como representativa de ambiente marinho raso dominado por marés (BORGHI, 1993; ASSINE, 1996; BERGAMASCHI, 1999; SEDORKO *et al.*, 2017).

#### 6.3.1 Significado icno-sedimentológico

Os conjuntos de dados das associações icno-sedimentológicas exprimem condições paleodeposicionais em ambiente marinho raso (*i.e.* sistema litorâneo a marinho costeiro) entre o *foreshore* ao *shoreface* inferior, sob influência de alta energia e dominados pelas ondas de maré. O contexto faciológico das unidades inferior e média, compreendem a predominância de camadas de arenitos grossos a médios, localmente finos intercalados com pelitos. Exibindo estratificações cruzadas em extensos conjuntos de leitos de geometria tabulares (Fig. 6). Sedorko *et al.* (2017) reconheceram um fator característico para toda Formação Furnas, que são as extensas lateralidades em leitos estratificados de arenitos tabulares, que refletem a deposição marinha influenciados por marés.

Os contrastes faciológicos e icnológicos da unidade inferior na base da seção Santuário Santa do Paredão evidenciam a deposição em condições de alta energia entre as zonas do *foreshore* ao *shoreface* superior (CLIFTON *et al.*, 1971; GREENWOOD; MITTLER, 1985; BUSCOMBE; MASSELINK, 2006). Os conjuntos de litofácies específicas expressam as evidências de influência significativa da ação de fluxos em regimes de marés (DAVIDSON-ARNOTT; GREENWOOD, 1976; REINSON, 1984; ROY *et al.*, 1980; THOM *et al.*, 1986), caracterizada pela predominância em

leitos de arenitos bem selecionados grossos a médios com estratificações cruzadas de baixo ângulo ( fácies Sl; Fig. 5D), em alguns níveis associados a ondulações no topo das camadas.

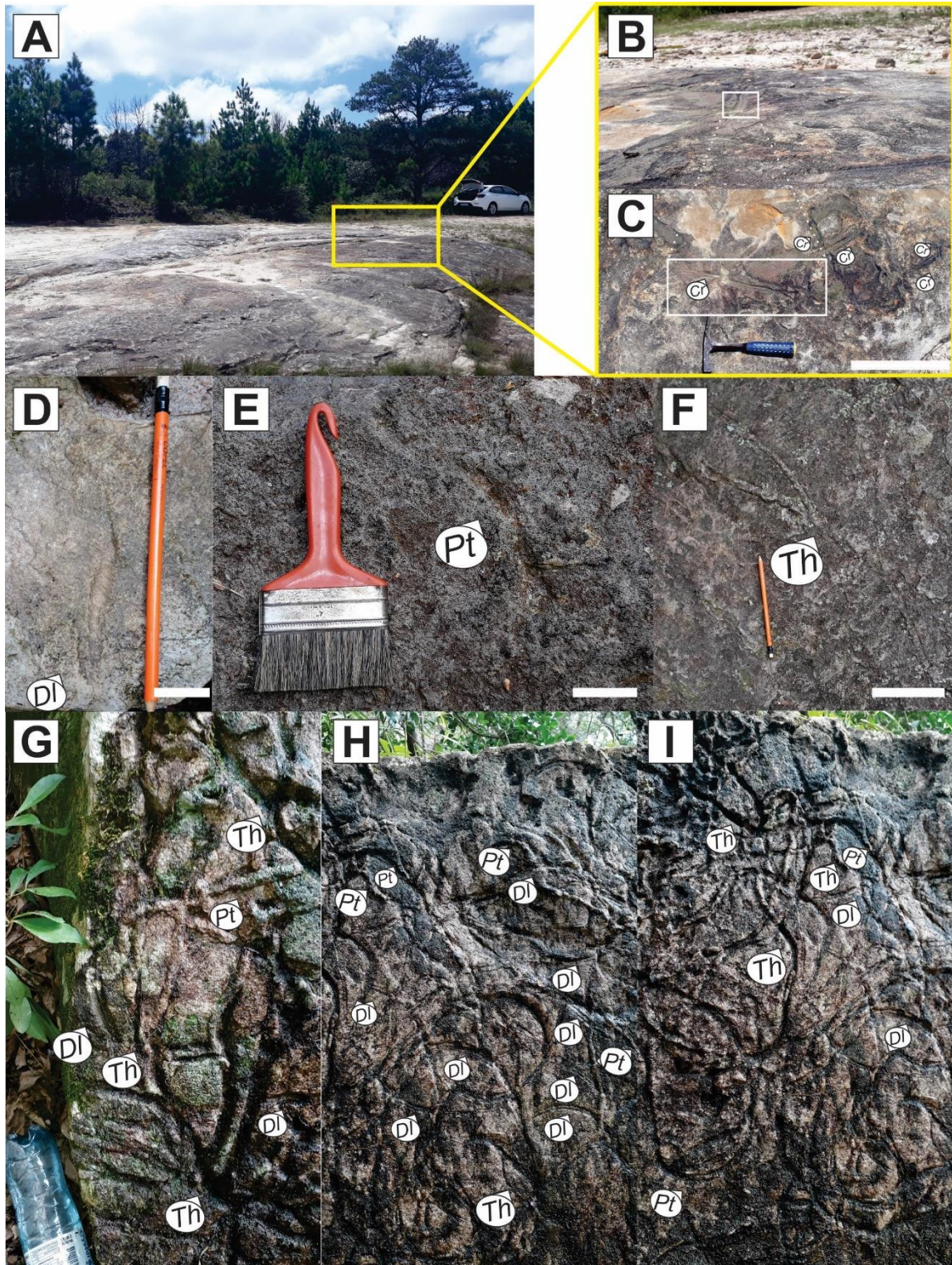
As informações icnológicas também fornecem dados para a deposição em zonas do *foreshore* ao *shoreface* superior. Os altos fluxos hidrodinâmicos resultam em colonização esparsa pela fauna bentônica, proporcionando uma ausência ou baixa icnodiversidade (MACEACHERN; PEMBERTON, 1992). Como resultado das condições gerais de alta energia, não é incomum encontrar depósitos não escavados ao longo da porção inferior da seção (PEMBERTON *et al.*, 2001). A presença de uma baixa intensidade de bioturbação e icnodiversidade, marcados por formas transicionais (Fácies Sm; Fig. 5C), sugerem períodos de relativa quiescência para processos de colonização (SEDORKO *et al.*, 2017).

A unidade média analisada nas duas seções prospectadas evidencia condições de deposição no *shoreface* inferior, mas em contexto raso, ocorrendo imediatamente acima da base da onda de bom tempo, influenciado pela ação de ondas de fundo (REINSON, 1984; WALKER; PLINT, 1992). A unidade caracteriza-se por um cenário deposicional de comportamento dinâmico, marcado pela predominância granulométrica de arenitos médios, com intercalação de níveis finos e pelíticos, dominados por estratificações cruzadas acanaladas e plano-paralelas (Fácies St e Sh; Fig. 5E/F). Além da ocorrência de fácies de arenito grosso a muito grosso. Assim, a variabilidade litológica evidencia fluxos deposicionais de menor e maior energia do meio (ANTHONY; AAGAARD, 2020).

As evidências icnológicas apontam para processos de colonização em períodos de fluxos de sedimentação de energia moderada a baixa, com paradas acentuadas ou temporárias no aporte sedimentar (*sensu*: ASSINE, 1996), possibilitando abertura de janelas de colonização e preservação dos icnofósseis (Fácies Sh, St e Fsm; Fig. 5E/F/I), e a inserção de uma suíte etologicamente diversa, com uma alta icnodiversidade em níveis moderados a altos de bioturbação (Fig. 6).

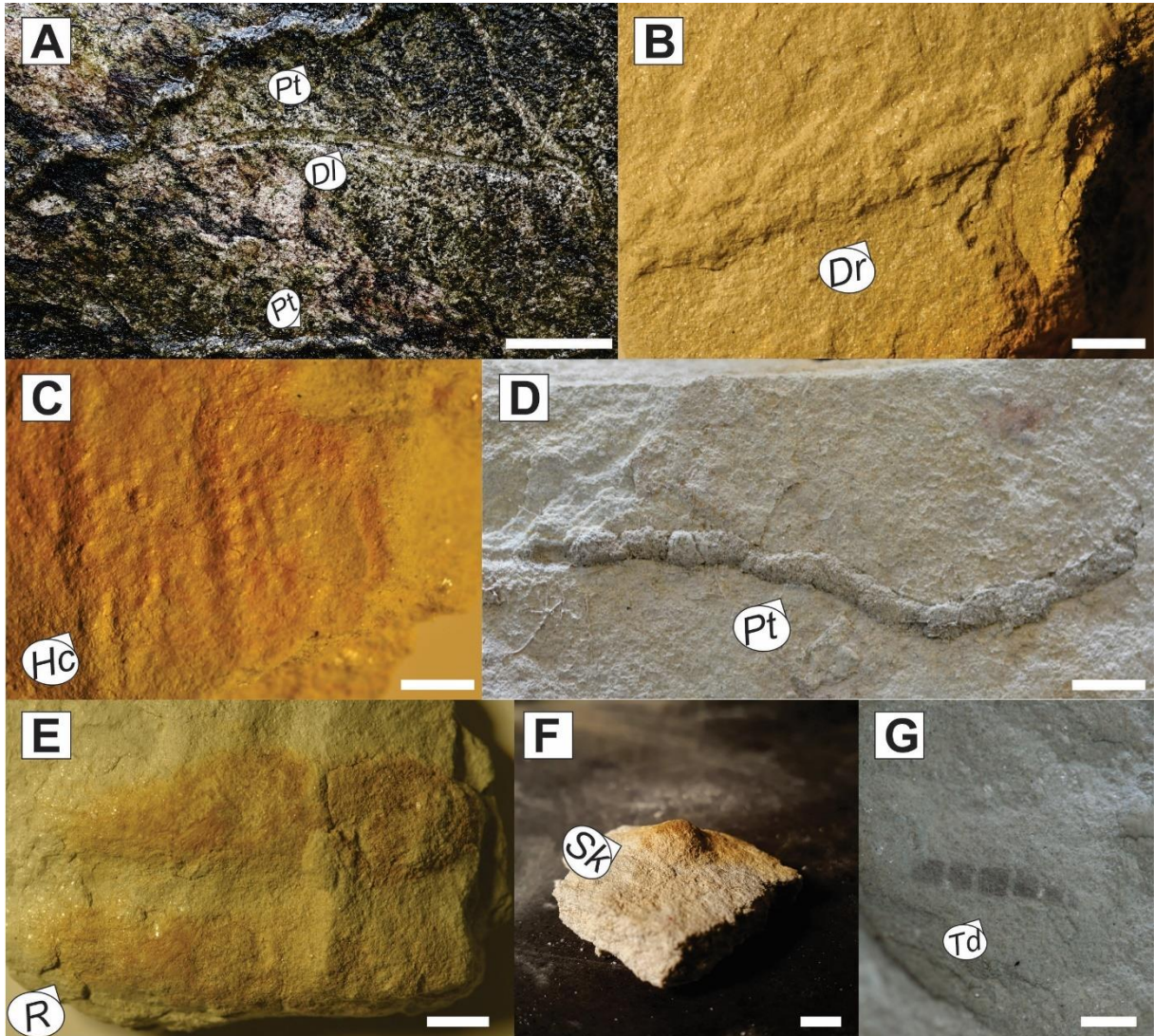
A interpretação paleoambiental para a unidade inferior e média é de um ambiente litorâneo de áreas expostas a fortes ações de marés. Fato corroborado pelas observações em Borghi (1993), Assine (1996) e Bergamaschi (1999) que interpretaram a provável deposição da seção em sistemas litorâneos a marinho-costeiro, afetados por fortes ondas e correntes.

Figura 7 - Icnofósseis da Formação Furnas: A. Nível do afloramento e posição da *Cruziana* isp. (*Cr*) em B. a disposição das *Cruziana* no plano de acamamento e C. Zoom no caráter bilobado; D. *Didymaulichnus lyelli* (*Di*) preservado em epirelevo côncavo no plano de acamamento; E. *Palaeophycus tubularis* (*Pt*) em epirelevo côncavo no plano de acamamento; F. *Thalassinoides* isp. (*Th*) preservada em relevo cheio na vista do plano de estratificação; G-J-I. Icnossociação de *D. lyelli*, *P. tubularis* e *Thalassinoides* isp. em variados tamanhos. A barra de escala representa 1 cm.



Fonte: O Autor.

Figura 8 - Icnofósseis da Formação Furnas: A. *Didymaulichnus lyelli* (Dl) preservado em epirelevo convexo e côncavo no plano de acamamento associado com *Palaeophycus tubularis* (Pt); B. *Didymaulyponomos rowei* (Dr) preservado em epirelevo côncavo; C. *Heimdallia chatwini* (Hc) no plano de acamamento; D. *Palaeophycus tubularis* (Pt) com a estrutura preenchida com sedimento; E. *Rusophycus* isp. (R) preservado em epirelevo côncavo. F. *Skolithos* (Sk) preservado abertura da escavação. G. *Taenidium dieslingi* (Td) preservado em epirelevo côncavo. A barra de escala representa 1 cm.



Fonte: O Autor.

### 6.3.2 Evidências paleoecológicas

Os organismos são sensíveis a certas flutuações de parâmetros (*i.e.* energia hidrodinâmica), expressando variados comportamentos em resposta aos fatores ambientais (BUATOIS; MÁNGANO, 2011). Em relação aos depósitos da Formação

Furnas, são interpretados a provável deposição em condições marinhas rasas influenciadas por altos fluxos de energia hidrodinâmica, que refletem os padrões de baixa intensidade de bioturbação em toda a unidade, associados a “períodos de relativa quiescência que forneceram janelas para a colonização por organismos bentônicos” (SEDORKO *et al.*, 2017, p. 316).

Embora a energia hidrodinâmica exerça a maior influência nos processos de colonização, outros fatores podem ser categorizados (*i.e.* paleobatimetria, consistência do substrato, estratégias de alimentação, oxigenação e salinidade), para compreensão das relações paleossinecológicas entre os limites de tolerância dos organismos bentônicos em termos das respostas multivariáveis moldadas pelas interações entre os parâmetros ambientais (SEILACHER, 1964; EKDALE, 1985; SIMÕES; GHILARDI, 2000; MÁNGANO; BUATOIS, 2007; NETTO *et al.*, 2020).

A paleobatimetria é o parâmetro ambiental central para a compreensão no controle da distribuição dos icnofósseis nas seções analisadas, sendo o principal fator que controla a produção de certos padrões comportamentais que estão correlacionados com o aumento da profundidade no mar (EKDALE, 1985; MÁNGANO; BUATOIS, 2007; BUATOIS; MÁNGANO, 2011). As evidências icnológicas demonstraram que a associação dos elementos na icnofácies *Cruziana* refletem uma melhor dispersão e colonização em ambientes mais distais, sob condições energéticas relativamente estáveis (MACEACHERN *et al.*, 2007).

As informações sedimentológicas e icnológicas apontaram para a distribuição da icnofácies *Cruziana* nas expressões proximal e empobrecida. A icnofácies *Cruziana* proximal observada na unidade inferior demarca a colonização próximo à costa em zonas de altos fluxos de energia hidrodinâmica, resultando em uma baixa icnodiversidade (MACEACHERN *et al.*, 2005). Os elementos constituintes da icnofácies *Cruziana* empobrecida dominante em toda a unidade média contém uma classificação etológica concordante com a proposta de MACEACHERN *et al.* (2007), associados a comportamentos de locomoção e de alimentação, sob regimes de moderada a baixa energia hidrodinâmica em águas relativamente menos energéticas, mas em contexto raso associada à unidade inferior (Fig. 9).

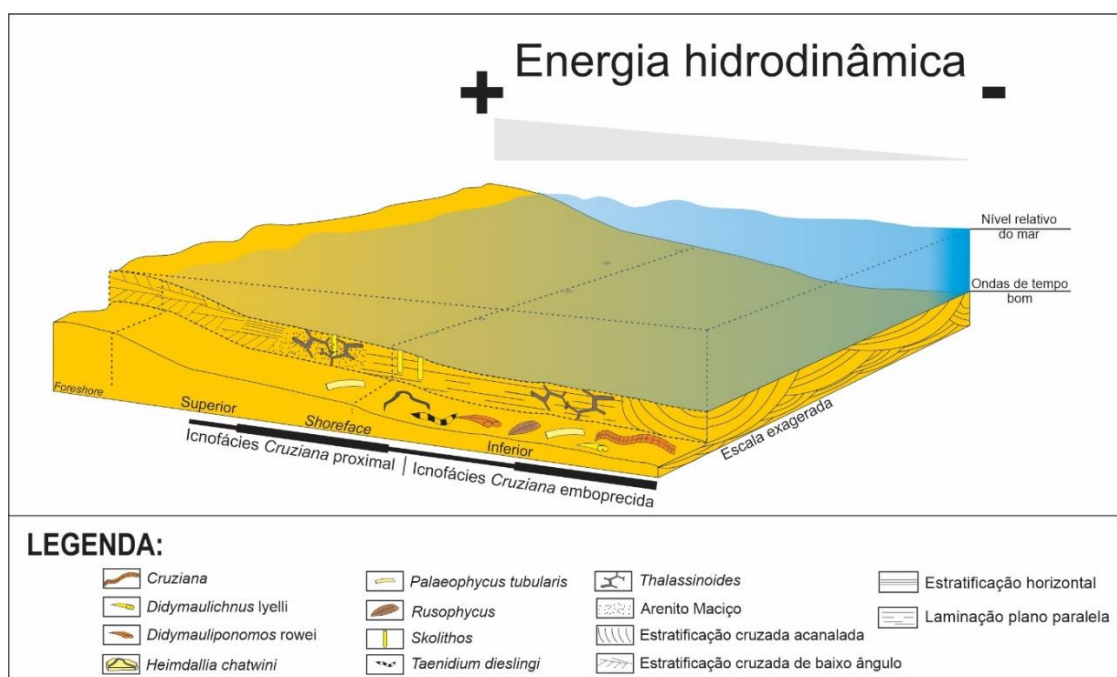
Os dados sedimentológicos demonstraram uma distribuição granulométrica das litofácies com a predominância de arenitos grossos a médios e níveis médios a finos nas unidades inferior e média, respectivamente. A porção inferior interpretada como zonas paleobatimétricas rasas entre o *foreshore* ao *shoreface* superior, sofrem

intensos processos de deposição e retrabalhamento sedimentar em virtude dos altos fluxos hidrodinâmicos, impossibilitando a colonização do meio ou removendo estruturas em *tiers* rasos.

A expressão empobrecida da icnofácies *Cruziana* é dominante na unidade média, onde a granulometria do substrato é caracterizada pela redução no tamanho dos grãos. As condições de menor energia do meio possibilitaram exploração de diferentes tipos de recursos, com estruturas de locomoção e alimentação, principalmente de detritívoros (BUATOIS *et al.*, 2003). Entre estes comportamentos ocorre traços de locomoção e repouso, como *Cruziana* (Fig. 7B), *Dydimaulichnus* (Fig. 8A) e *Rusophycus* (Fig. 7E), traços de habitação por detritívoros e suspensão e/ou predadores passivos (Fig. 17), como *Dydimauliponomos* (Fig. 8B), *Heimdallia* (Fig. 8C), *Taenidium* (Fig. 8G), *Palaeophycus* e *Thalassinoides* (Fig. 7E/F).

Os fatores paleossinecológicos observados nas icnoassociações, possibilitaram a indicação de condições normais nos teores de salinidade e oxigenação nas seções analisadas. A interpretação do paleoambiente marinho raso é suportada pela presença de icnogêneros eurialinos, que indicam condições de salinidade aproximadas de 35%, tais como *Cruziana*, *Rusophycos* e *Heimdallia* (MCLUSKY, 1989; MÁNGANO; BUATOIS, 2004).

Figura 9 - Diagrama esquemático da colonização representada pelos icnotáxons ao longo das fácies plataformais da Formação Furnas.



Fonte: O autor.

Em suma, as evidências paleoecológicas obtidas com base nas interpretações sedimentológicas e icnológicas indicam a deposição em ambientes marinho raso de moderada a alta energia hidrodinâmica em condições estáveis de salinidade e oxigenação do meio. Dependendo dos regimes de menor energia e das janelas de colonização disponíveis, proporcionou o desenvolvimento de suítes diversas em níveis variáveis em intensidade de bioturbação, ocasionadas por organismos infaunais e epifaunais que exibem estruturas simples e complexas de padrões comportamentais.

## 7 CONCLUSÕES

Baseado no histórico das pesquisas icnológicas e as sucessivas análises paleoecológicas e paleométricas no Siluriano Inferior da Formação Furnas, pode-se inferir:

1. A Formação Furnas possibilitou ao longo do último século uma gama de discussões acerca da sua origem deposicional em variadas interpretações, tais como de paleoambientes marinhos e fluviais. Com a incorporação da Icnologia atrelada aos estudos sedimentológicos da unidade propiciou a partir da década de 1990 a indicação de um paleoambiente marinho raso.
2. Nove icnotáxons foram identificados entre as unidades inferior e média na Formação Furnas exposta nas seções do Santuario Santa do Paredão e PR 090, km 165 nas regiões de Jaguariaíva e Piraí do Sul no estado do Paraná, respectivamente. As associações desses icnotáxons definem duas expressões proximal e empobrecida da icnofácies *Cruziana*. Os icnofósseis refletem uma variabilidade de categorias etológicas Repichnia, Cubchnia, Domichnia e Fodichnia.
3. Os conjuntos de evidências faciológicas (por exemplo, estratificação cruzada de baixo ângulo, cruzadas acanaladas e plano-paralelas), atrelados aos icnofósseis indicam a deposição em ambientes litorâneos de *foreshore* ao *shoreface* inferior de moderada a alta energia hidrodinâmica.
4. As interpretações paleoecológicas obtidas indicam que as condições de energia hidrodinâmica do meio controlaram os processos de colonização pela infauna com base na variação batimétrica.



## REFERÊNCIAS

- ACEÑOLAZA, F.G. e CIGUEL, J.H.G. Analisis comparativo entre las formaciones Balcarce (Argentina) y Furnas (Brasil). **Congresso Geológico Argentino**, San Miguel de Tucumán, AR, p. 299-305, 1987. Trabalho apresentado no 10° Congresso Geológico Argentino, 1989, San Miguel de Tucumán, AR.
- ALMEIDA, F.F.M. Geologia do centro-leste mato-grossense. **DNPM. Bol. Div. Geol. Min.** v. 150, p. 92, 1954.
- ALPERT, S.P. Systematic Review of the Genus *Skolithos*. **Source: Journal of Paleontology**, v. 48, nº 4, 661-669, 1974.
- ALVARENGA, C.J.S. e GUIMARÃES, E.M. Siluro-Devoniano no Nordeste da bacia do Paraná: região entre Diorama e Amoninópolis, GO. **Simpósio de Geologia do Centro-Oeste**, Brasília, DF, p. 53-54, 1995. Trabalho apresentado no Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 1995, Brasília, DF.
- ALVARENGA, C.J.S.; GUIMARÃES, E.M.; ASSINE, M.L.; PERINOTTO, J.A.J. e LARANJEIRA, N.P. Seqüência Ordovício-Siluriano e devoniana do flanco Norte da bacia do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, p. 587–606, 1998.
- ANDRADE, S.M. e CAMARÇO, P.E.N. Estratigrafia dos sedimentos devonianos do flanco nordeste da bacia do Paraná. **XXXI Congresso Brasileiro de Geologia**, Camboriú, SC, p. 2828–2836, 1980. Trabalho apresentado no 31° Congresso Brasileiro de Geologia, 1980, Camboriú, SC.
- ANDRADE, S.M. e CAMARÇO, P.E.N. Seqüências sedimentares pré- carboníferas dos flancos nordeste da bacia do Paraná e sudoeste da bacia do Parnaíba e suas possibilidades uraníferas. **XXXII Congresso Brasileiro de Geologia**, Salvador, BA, p. 2132–2144, 1982. Trabalho apresentado no 32° Congresso Brasileiro de Geologia, 1982, Salvador, BA.
- ANTHONY, E.J. e AAGAARD, T. The lower shoreface: Morphodynamics and sediment connectivity with the upper shoreface and beach. **Earth-Science Reviews**, v. 201, p. 1-32, 2020.

ARAUJO, T.P. **Sistema fluvial ou dominado por maré? Estudos de processos de sedimentação e arquitetura deposicional no Canyon do Guartelá, Formação Furnas, Devoniano inferior, Bacia do Paraná, Brasil.** 2016. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2016.

ASSINE, M.L.; Soares, P.C. e Milani, E.J. Sequências tectono sedimentares mesopaleozóicas da bacia do Paraná, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, p. 77–89, 1994.

ASSINE, M.L. Natureza do contato entre as formações Furnas e Ponta Grossa. **Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná**, Porto Alegre, RS, p. 30–31, 1995. Trabalho apresentado no 2º Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1995, Porto Alegre, RS.

ASSINE, M.L. **Aspectos da estratigrafia das sequências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil.** 1996. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ASSINE, M.L. e GÓIS, J.R. Traços fósseis de trilobita na Formação Furnas, Bacia do Paraná, Brasil. **Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano.** Ponta Grossa, PR, p. 371-373, 1996. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano, 1996, Ponta Grossa, PR.

ASSINE, M.L. e PETRI, S. Seqüência e tratos deposicionais no pré-Carbonífero da bacia do Paraná, Brasil. **Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano: estratigrafia e Paleontologia**, Ponta Grossa, PR, p. 353-361, 1996. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano, 1996, Ponta Grossa, PR.

ASSINE, M.L.; PERINOTTO, J.A.J.; FÚLFARO, V.J. e PETRI, S. Progradação deltáica Tibagi no Devoniano Médio da bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, p.125–134, 1998.

ASSINE, M.L. Fácies, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas no flanco Sudeste da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 3, p. 357-370, 1999.

BERGAMASCHI, S. **Análise sedimentológica da Formação Furnas na faixa de afloramentos do flanco norte do Arco Estrutural de Ponta Grossa, Bacia do Paraná, Brasil.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1992.

BERGAMASCHI, S. (1994). Aspectos faciológicos do Devoniano Inferior da bacia do Paraná na faixa de afloramentos do flanco Norte do arco estrutural de Ponta Grossa. **XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**, Camboriú, SC, p. 88–89, 1994. Trabalho apresentado no 38º Congresso Brasileiro de Geologia, 1989, Cmaboriú, SC.

BERGAMASCHI, S. **Análise estratigráfica do Siluro–Devoniano (formações Furnas e Ponta Grossa) da Sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil.** 1999. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

BERGAMASCHI, S. e PEREIRA, E. Caracterização de seqüências deposicionais de 3ª ordem para o Siluro-Devoniano na sub-bacia de Apucarana, bacia do Paraná, Brasil. **Ciência, Técnica, Petróleo**, v. 20, p. 63-72, 2001.

BEYNON, B.M. e PEMBERTON, S.G. Ichnological signature of a brackish water deposit: an example from the lower Cretaceous Grand Rapids Formation, cold lake oil sands area, Alberta. In: Pemberton, S.G. (eds.) **Applications of ichnology to petroleum exploration – A core workshop**, 17. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core workshop p. 402, 1992.

BIGARELLA, J.J. Paleocorrentes e deriva continental (comparações entre a América do Sul e África). **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 31, p. 141–224, 1973.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. e MARQUES FILHO, L.P. Texturas e estruturas da Formação Furnas e sua significação paleogeográfica. **Boletim da Universidade Federal do Paraná**, v. 18, p. 1–114, 1966.

BIGARELLA, J.J. e SALAMUNI, R. Some palaeogeographic features of the Brazilian Devonian. In: Bigarella, J.J. (eds.) Problems in Brazilian Devonian Geology. **Boletim Paranaense de Geografia**, v. 21122, p. 133-151, 1967.

BOLZON, R.T.; ASSINE, M.L. e GUERRA SOMMER, M. Ocorrência de *Cooksonia* Lang, 1937 na Formação Furnas, Estado do Paraná. **VIII Reunião de Paleobotânicos**

e **Palinólogos**, São Paulo, SP, p. 11, 1994. Trabalho apresentado no 8º Reunião de Paleobotânicos e Palinólogos, 1994, São Paulo, SP.

BORGHI, L. e SCHUBERT, G. (1992). *Furnasichnus langei*, ichnog. et ichnosp. nov., and its relation to other trace fossils from the Devonian of Paraná State, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 64, p. 418, 1992.

BORGHI, L. **Caracterização e análise faciológicas da Formação Furnas em afloramentos do bordo leste da Bacia do Paraná**. 1993. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1993.

BORGHI, L. Icnofácies da Formação Furnas no estado do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 66, n. 1, p. 121, 1994a.

BORGHI, L. On a storm facies of the Furnas Formation at the Paraná State, Brazil. **International Sedimentological Congress**, Recife, PE, p. 7, 1994b. Trabalho apresentado no 7º International Sedimentological Congress, 1994, Recife, PE.

BORGHI, L. (1996). A Formação Furnas revisada no bordo Leste da Bacia do Paraná. **Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano**. Ponta Grossa, PR, p. 13-28, 1996. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano, 1996, Ponta Grossa, PR.

BORGHI, L. Caracterização das fácies sedimentares da Formação Furnas em afloramentos da borda Leste da bacia sedimentar do Paraná (Estado do Paraná). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 69, p. 139, 1997.

BOSETTI, E.P.; NETTO, R.G.; TOGNOLI, F.M.W.; SEDORKO, D. e MATSUMURA, W.M.K. Continental input on shelfal deposits unveiled by integration of ichnology, sedimentology, and taphonomy: A case study in givetian beds of the Paraná Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 110, p.1-12, 2021.

BURJACK, M.I.A. e POPP, M.T.B. A ocorrência do icnogêneros *Arthropycus* no Paleozóico da Bacia do Paraná. **Pesquisas**, v. 14, p. 163-168, 1981.

BRADSHAW, M.A. Paleoenvironmental interpretations and systematics of Devonian trace fossils from the Taylor Group (lower Beacon Supergroup), Antarctica. **N. Z. J. Geol. Geophys.** v. 24, p. 615–652, 1981.

BRENCHLEY, P.J. e HARPER, D.A.T. **Palaeoecology: Ecosystems, environments and evolution**. Stanley Thornes Pub Ltd, London, 1998, 402 p.

BROMLEY, R.G. e EKDALE, A.A. Chondrites: a trace fossil indicator of anoxia in sediments. **Science**, v. 224, p. 872-874, 1984.

BROMLEY, R.G.; EKDALE, A.A. e Richter, B. New Taenidium (trace fossil) in the Upper Cretaceous chalk of northwestern Europe. **Bull Geol Soc Denm**, v. 46, p. 47–51, 1999.

BROMLEY, R.G. **Trace fossils: Biology, taphonomy and applications**. 2<sup>a</sup> ed. Londres: Chapman e Hall, 1996.

BUATOIS, L.A. e MÁNGANO, M.G. Ecospace utilization, paleoenvironmental trends and the evolution of early nonmarine biotas. **Geology**, v. 21, p. 595–598, 1993.

BUATOIS, L.A.; BROMLEY, R.G.; MÁNGANO, M.G.; BELLOSI, E. e CARMONA, N.B. Ichnology of shallow marine deposits in the Miocene Chenque Formation of Patagonia: Complex ecologic structure and niche partitioning in Neogene ecosystems. *In*: BUATOIS, L.A.; MÁNGANO, M.G. (eds.) **Icnología: Hacia una convergencia entre geología y biología**, Publicación Especial de la Asociación Paleontológica Argentina, v. 9, p. 85–95, 2003.

BUATOIS, L.A. e MÁNGANO, M.G. **Ichnology: organism-substrate interactions in space and time**. 1<sup>a</sup> ed. New York: Cambridge University Press, 2011.

BUATOIS, L.A.; WISSHAK, M.; WILSON, M.A. e MÁNGANO, M.G. Categories of architectural designs in trace fossils: a measure of ichnodisparity. **Earth Sci. Rev.**, v. 164, p. 102–181, 2017.

BUCKMAN, J.O. *Heimdallia* from the Lower Carboniferous of Ireland: *H. mullaghmori* a new ichnospecies, and re-evaluation of the three-dimensional format of the ichnogenus. **Ichnos**, v. 5, p. 43–51, 1996.

BUSCOMBE, D. e MASSELINK, G. Concepts in gravel beach dynamics. **Earth Science Reviews**, v. 79, p. 33–52, 2006.

CAMPANHA, V.A. O significado do icnofóssil *Zoophycos* na sedimentação da Formação Ponta Grossa (D) Bacia do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 57, n. 1, p. 116, 1985.

CAPUTO, M.V. e CROWELL, J.C. Migration of glacial centers across Gondwana during Paleozoic Era. **Geological Society of America, Bulletin**, v. 96, p. 1020–1036, 1985.

CARVALHO, P.F. O Devoniano do Paraná. **Boletim DNPM-DGM**, v. 109, p. 9-27, 1941.

CIGUEL, J.H.G. e GODOY, H. **Relatório da folha geológica de Camarinha parcial leste Cerro do Purunã**. Relatório UFPR, ST-Departamento de Geologia, 1985.

CIGUEL, J.H.G e ACEÑOLAZA, F.G. Icnologia da Formação Furnas (Paleozoico Médio), Bacia do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 58, nº 4, p. 595-596, 1986.

CIGUEL, J.H.G. e ACEÑOLAZA, F.G. Nota sobre a ocorrência de *Conostichus* na Formação Furnas, estado do Paraná, Brasil. In: Reunion del Proyecto 270 IGCP, 1, **Annaes Eventos Del Paleozoico Inferior em Latinoamerica**, Santiago, Chile, 1988.

CIGUEL, J.H.G. e ACEÑOLAZA, F.G. *Conostichus* na Formação Furnas (flanco oriental) no estado do Paraná. **Congresso Brasileiro de Paleontologia**, Curitiba, PR, p. 13-14, 1989. Trabalho apresentado no 11º Congresso Brasileiro de Paleontologia, 1989, Curitiba, PR.

CIGUEL, J.H.G. A presença de *Didymaulichnus rowei* na Formação Furnas (Siluriano-Devoniano, flanco oriental da Bacia do Paraná) - revisão dos icnofósseis referidos de 1912 a 1989. **Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano**. Ponta Grossa, PR, p. 29-39, 1996. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano, 1996, Ponta Grossa, PR.

CIGUEL, J.H.G.; PEDREIRA, A.J. e GÓIS, J.R. Os icnofósseis da localidade de Sítio Cercado, estado do Paraná Brasil - Formação Furnas (Siluriano-Devoniano), flanco oriental DA Bacia do Paraná. **Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano**. Ponta Grossa, PR, p. 319-335, 1996. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano, 1996, Ponta Grossa, PR.

CLARKE, J.M. **Fósseis devonianos do Paraná**. Monografia do serviço geológico e mineralógico do Brasil. 1913, 353 p.

CLIFTON, H.E.; HUNTER, R.E. e PHILLIPS, R.L. Depositional structures and processes in the non-bar high energy nearshore. **J. Sediment. Petrol.**, v. 41, p. 651–670, 1971.

COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C.; BOGGIANI, P.C. e GESICKI, A.L.D. Paleocorrentes do sistema fluvial entrelaçado da Formação Furnas em Mato Grosso do Sul e suas implicações paleotectônicas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 67, p. 520, 1995.

CRIMES, T.P. e HERDMAN, J. Trilobite tracks and other trace fossils from the Upper Cambrian of North Wales. **Geol. J.**, v. 7, p. 47–68, 1970.

DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D. e GREENWOOD, B. Facies relationships in a barred coast, Kouchibouguac Bay, New Brunswick, Canada. In: Davis Jr., R.A., Ethridge, R.L. (Eds.). **Beach and Nearshore Sedimentation**. SEPM Spec. Publ., v. 24, p. 149–168, 1976.

DINIZ, M.N. **Interpretação ambiental da Formação Ponta Grossa na parte central da Bacia do Paraná – Um estudo de subsuperfície**. 1985. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

DINO, R. e Rodrigues, M.A.C. Palinomorfos eodevonianos da Formação Furnas, Bacia do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 67, p. 107–116, 1995.

DINO, R.; Bergamaschi, S.; Pereira, E.; Melo, J.H.G.; Loboziak, S. e Steemans, P. Biochronostratigraphic investigations of the Pragian and Emsian stages on the southeastern border of the Paraná Basin. **Simpósio sobre cronoestratigrafia da Bacia do Paraná**, Porto Alegre, RS, p. 19-25, 1995. Trabalho apresentado no 2º Simpósio sobre cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1995, Porto Alegre, RS.

D'ORBIGNY, A. **Voyage dans l'Amérique méridionale**. Partie 3. v.4, p. 536, 1842.

EKDALE, A.A.; BROMLEY, R.G. e PEMBERTON, S.G. **Ichnology: the use of trace fossil in Sedimentology and Stratigraphy**. 15<sup>a</sup> ed. Oklahoma: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1984.

EKDALE, A.A. Paleoecology of the marine endobenthos. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 50, p. 63–81, 1985.

EKDALE, A.A. Pitfalls of paleobathymetric interpretations based on trace fossil assemblages. **Palaios**, v. 3, p. 464–472, 1988.

EKDALE, A.A. e MASON, T.R. Characteristic trace-fossil associations in oxygen-poor sedimentary environments. **Geology**, v. 16, p. 720–723, 1988.

FERNANDES, A.C.S. e MELO, J.H.G. Ocorrência do icnogênero *Bifungites* na Formação Ponta Grossa, Devoniano do estado do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, v.57, p. 203-207, 1985.

FERNANDES, A.C.S. e NETTO, R.G. O estado atual da paleoicnologia no Paleozoico da Bacia do Paraná. **Congresso Brasileiro de Paleontologia**, Fortaleza, CE, p. 41, 1985. Trabalho apresentado no 11<sup>o</sup> Resumo das Comunicações, 1985, Fortaleza, CE.

FERNANDES, A.C.S. **Conteúdo icnológico das Formações Ordoviciano-Devoniano da Bacia do Paraná, Brasil**. 1996. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1996.

FERNANDES, A.C.S.; BORGHI, L.; CARVALHO, I.S. e ABREU, C.J. **Guia dos icnofósseis de invertebrados do Brasil**. 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002.

FILLION, D. e PICKERILL, R.K. Ichnology of the Upper Cambrian? to Lower Ordovician Bell Island and Wabana groups of eastern Newfoundland, Canada. **Palaeontogr. Can.** v. 7, p. 1–119, 1990.

FORTEY, R.A. e SEILACHER, A. The trace fossil *Cruziana semiplicata* and the trilobite that made it. **Lethaia**, v. 30, p. 105–112, 1997.

FÚLFARO, V.J. A evolução tectônica e paleogeográfica da Bacia Sedimentar do Paraná pelo *trend surface analysis*. **EESC. Geologia**, v. 14, p. 1-112, 1971.



GAMA JR., E.; BANDEIRA JR., A.N. e FRANÇA, A.B. Distribuição espacial e temporal das unidades litoestratigráficas paleozoicas na parte central da Bacia do Paraná. **Revista brasileira de Geociências**, v. 8, p. 11-20, 1982.

GARCIA VASCONEZ, R.G. **Reconstrução de barras em grandes sistemas de canais entrelaçados (Formação Furnas, Devoniano inferior, Canyon do Guartelá, Bacia do Paraná, sudeste do Brasil)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, SP, Brasil, 2019.

GERARD, J.R.F. e BROMLEY, R.G. **Ichnofabrics in Clastic Sediments: Applications to Sedimentological Core Studies**. Jean R.F. Gerard, Madrid, 2008, 97 pp.

GERRIENNE, P.; BERGAMASHI, S.; PEREIRA, E.; RODRIGUES, M.A.C. e STEEMANS, P. An Early Devonian flora, including Cooksonia, from the Paraná Basin (Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 116, p. 19-38, 2001.

GLAESSNER, M.F. Trace fossils from the Precambrian and basal Cambrian. **Lethaia**, v. 2, p. 369–393, 1969.

GOLDRING, R. The formation of the trace fossil Cruziana. **Geol. Mag.** v. 122, p. 65–72, 1985.

GONEZ, P. e GERRIENNE, P. *Aberlemnia caledonica gen. et comb. nov., a new name for Cooksonia caledonica* Edwards 1970. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 163, p. 64-72, 2010.

GRAHN, Y.; MAULLER MENDLOWICZ, P.; BREUER, P.; BOSETTI, E.P.; BERGAMASCHI, S. e PEREIRA, E. The Furnas/Ponta Grossa contact and the age of the lowermost Ponta Grossa Formation in the Apucarana Sub-basin (Paraná Basin, Brazil): integrated palynological age determination. **Rev. Bras. Paleontol.**, v. 2, p. 89-102, 2010.

GRAHN, Y.; MAULLER, P.M.; BERGAMASCHI, S. e BOSETTI, E.P. Palynology and sequence stratigraphy of three Devonian rock units in the Apucarana Subbasin (Paraná Basin, south Brazil): additional data and correlation. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 198, p. 27–44, 2013.

GREENWOOD, B. e MITTLER, P.R. Vertical sequence and lateral transitions in the facies of a barred nearshore environment. **J. Sediment. Petrol.**, v. 55, p. 366–375, 1985.

GRIFFIS, R.B. e SUCHANEK, T.H. A model of burrow architecture and trophic modes in thalassinidean shrimp (Decapoda: Thalassinidea). **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 79, p. 171–183, 1991.

HÄNTZSCHEL, W. Trace fossil and problematica. In: TEICHERT, C. (eds.) **Treatise on invertebrate paleontology, Part W**, Supplement 1, 1975.

HEMBREE, D.I. e HASIOTIS, S.T. Miocene vertebrate and invertebrate burrows defining compound paleosols in the Pawnee Creek Formation, Colorado, U.S.A. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.**, v. 270, p. 349–365, 2008.

HENRIQUE-PINTO, R.; BASEI, M.A.S.; SANTOS, P.R.; SAAD, A.R.; MILANI, E.J.; CINGOLANI, C.A. e FRUGIS, G.L. Paleozoic Paraná Basin transition from collisional retro-foreland to pericratonic syncline: Implications on the geodynamic model of Gondwana proto-Andean margin. **Journal of South American Earth Sciences**, 2021.

KNAUST, D. e BROMLEY, R. **Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. Developments in Sedimentology.** 1ª ed. Amsterdam: Elsevier, 2012.

KNAUST, D. **Atlas of Trace Fossils in Well Core Dirk Knaust Appearance, Taxonomy and Interpretation.** 1ª ed. Springer, 2017.

LANGE, F.W. Restos vermiformes do arenito das Furnas. **Arquivos do Museu Paranaense**, v. 1, p. 3-8, 1942.

LANGE, F.W. Comentários a propósito do relatório DEBSP/292. **Petrobrás (Relatório interno DEBSP/L-2/65)**, 1965.

LANGE, F.W. e PETRI, S. The Devonian of the Paraná basin. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 21/22, p. 5–55, 1967.

LOBATO, G. e BORGHI, L. Análise estratigráfica da Formação Furnas (Devoniano inferior) em afloramentos da borda Leste da Bacia do Paraná). **Congresso Brasileiro**

**de PeD em Petróleo e Gás**, Salvador, BA, p. 1-6, 2005. Trabalho apresentado no 3º Congresso Brasileiro de PeD em Petróleo e Gás, 2005, Salvador, BA.

LOBOZIAK, S.; MELO, J.H.G.; STEEMANS, P. e BARRILARI, I.M.R. Miospore evidence for pre-Emsian and latest Famennian sedimentation in the Devonian of the Paraná Basin, south Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 67, p. 391-392, 1995.

LUDWIG, G. e RAMOS, A.N. Estudo faciológico das formações lapó, Furnas, Ponta Grossa do Paleozoico inferior da Bacia do Paraná. **Petrobrás (Relatório interno DEBSP/292)**, 1965.

MAACK, R. Geologia e Geografia da região de Vila Velha (estado do Paraná) e considerações sobre a glaciação carbonífera do Brasil. **Arquivos do museu paranaense**, v. 5, p. 1-305, 1946.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. *Curitiba*: **Arquivos de biologia e tecnologia**, v. 2, p. 63–154, 1947.

MAACK, R. Vestígios pré-devonianos de glaciação e a sequência de camadas devonianas do estado do Paraná. **Arquivos Biológicos e Tecnológicos**, p. 197-230, 1950.

MACEACHERN, J.A. e PEMBERTON, S.G. Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America. In: PEMBERTON, S.G. (eds.), **Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. SEPM Core Workshop Notes**, 17, p. 57–84, 1992.

MACEACHERN, J.A.; STELCK, C.R. e PEMBERTON, G. Marine and marginal marine mudstone deposition: paleoenvironmental interpretations based on the integration of ichnology, palynology and foraminiferal paleoecology. In: BERGAMAN, K.M.; SNEDDEN, J.W. (eds.) **Isolated shallow marine sand bodies: sequence stratigraphic analysis and sedimentological interpretation: society for sedimentary Geology Special Publication**. v. 64, p. 205-225, 1999.

MACEACHERN, J.A.; BANN, K.L.; BHATTACHARYA, J.P. e HOWELL, C.D. Ichnology of deltas: organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves,

storms, and tides. In: GIOSAN, L.; BHATTACHARYA, J.P. (eds). **River Deltas: Concepts, Models, and Examples**. SEPM, Special Publication, p.49–85, 2005.

MACEACHERN, J.A.; PEMBERTON, G.; GRINGAS, M.K. e BANN, K. The Ichnofacies Paradigm: A Fifty-Year Retrospective. In: MILLER, W. (eds.) **Trace fossil concepts, problems, prospects**, p. 52-75, 2007.

MCILROY, D. The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis: introduction. In: MCILROY, D. (eds.) **The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis**. Geological Society, London, Special Publications, v. 228, p. 2, 2004.

MÁNGANO, M.G. e DROSER, M. The ichnologic record of the Ordovician radiation. In: WEBBY, B.D., DROSER, M., PARIS, F.; PERCIVAL, I.G. (eds.), **The Great Ordovician Biodiversification Event**. Columbia University Press, New York, p. 369–379, 2004.

MÁNGANO, M.G. e BUATOIS, L.A. Ichnology of Carboniferous tide-influenced environments and tidal flat variability in the North American Midcontinent. In: MCILROY, D. (eds.) **The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis**, Geological Society Special Publication, v. 228, p. 157–178, 2004.

MÁNGANO, M.G. e BUATOIS, L.A. Trace Fossils in Evolutionary Paleocology. In: MILLER, W. (eds.) **Trace fossils Concepts, Problems, Prospects**. 1ª ed. Amsterdam: Elsevier, p. 391-403, 2007.

MARTIN, K.D. A re-evaluation of the relationship between trace fossils and dysoxia. In: MCILROY D. (eds.) **The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis**. 1ª ed. London: Geological Society, Special Publications, p. 141-156, 2004.

MARTINS, G.P.O.; RODRIGUES-FRANCISCO, V.M.C.; RODRIGUES, M.A.C. e ARAÚJO-JÚNIOR, H.I. Are early plants significant as paleogeographic indicators of past coastlines? Insights from the taphonomy and sedimentology of a Devonian taphoflora of Paraná Basin, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 505, p. 234-242, 2018.

MCLUSKY, D.S. **The Estuarine Ecosystem**. 2ª ed. London: Blackie, 1989.

MELO, J.H.G. The Malvinokaffric Realm in the Devonian of Brazil. In: MCMILLAN, N.J., EMBRY, A.F.; GLASS, D.J. (eds.). **Devonian of the World: Proceedings of the Second International Symposium on the Devonian System, Calgary: Canada.**, p. 669–976, 1988.

MILAGRES, I.M.; PEREIRA, E.; BERGAMASCHI, S.; RODRIGUES, M.A.C. e GERRIENNE, P. O registro da tafoflora devoniana observada no arco de Ponta Grossa, Bacia do Paraná, e suas implicações paleogeográficas. In: CARVALHO, I.S.; RODRIGUES, M.A.C.; CASSAB, R.C.T. (eds.) **Paleontologia - Cenários de Vida**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 25-48, 2007.

MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B. e SCHNEIDER, R.B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, p. 69–82, 1994.

MILANI, E.J.; ASSINE, M.L.; SOARES, P.C. e DAEMON, R.F. A seqüência Ordovício-Siluriana da bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 9, p. 301–320, 1995.

MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A. e FRANÇA, A.B. Rochas geradoras e rochas-reservatório da Bacia do Paraná, faixa oriental de afloramentos, Estado do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, p. 135-162, 2007.

MONACO, P.; CARACUEL, J.E. e GIANNETTI, A. Thalassinoides and Ophiomorpha as cross-facies trace fossils of crustaceans from shallow-to-deep-water environments: Mesozoic and Tertiary examples from Italy and Spain. In: GARASSINO, A.; FELDMANN, R.M.; TERUZZI, G. (eds) **3rd Symposium on Mesozoic and Cenozoic Decapod Crustaceans—Museo di Storia Naturale di Milano**, v. 35, p. 79–82, 2009.

MOREIRA, M.L.C.; BORGHI, L. e FERNANDES, A.C.S. A primeira ocorrência de *Arthropycus* Hall, 1852 na Formação Furnas (Bacia do Paraná). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 1, p. 151, 1998.

MUSSA, D. e BORGHI, L. A presença do gênero *Horneophyton* BARGHOORN; DARRAH na Formação Furnas, bacia do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 65, p. 214-215, 1993.

MUSSA, D.; BORGHI, L.; BERGAMASCHI, S.; SCHUBERT, G.; PEREIRA, E. e RODRIGUES, M.A.C. Estudo preliminar da taoflora da Formação Furnas, bacia do Paraná, Brasil. **Anais da Academia Brasileira Ciências**, v. 68, p. 65–89, 1996.

MUSSA, D.; BORGHI, L.; BERGAMASCHI, S.; SCHUBERT, G.; PEREIRA, E.; RODRIGUES, M.A.C.; PEREIRA, J.F. e EMMERICH, M. New Taxa From Furnas Formation, Paraná Basin, Brasil - An Approach and Revalidation of Names. **Boletim do Herbarium Bradeanum**, v. 45, p. 303-309, 2002.

MYROW, P.M. Thalassinoides and the enigma of early Paleozoic open-framework burrow systems. **Palaios**, v. 10, p. 58–74, 1995.

NETTO, R.G.; TOGNOLI, F.M.W. e GANDINI, R. Ichnology of the phanerozoic deposits of southern Brazil: synthetic review. In: NETTO, R.G., CARMONA, N.B., e TOGNOLI, F.M.W. (eds.) **Ichnology Of Latin America: Selected Papers**. Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia, v. 2, p.37-68, 2012.

NETTO, R.G.; TOGNOLI, F.M.W.; ASSINE, M.L. e NARA, M. Crowded Rosselia ichnofabric in the Early Devonian of Brazil: an example of strategic behavior. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. v. 395, p. 107–113, 2014.

NETTO, R.G.; RAMOS, K.S. e SEDORKO, D. Aplicações da Icnologia na Paleoecologia. In: SEDORKO, D.; Francischini, H. (eds.) **Icnologia: interações entre organismos e substrato**. 1ª ed. Curitiba: CRV, p. 75-90, 2020.

NORTHFLEET, A.A.; MEDEIROS, A.A. e MUHLMANN, H. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. **Boletim técnico da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 291-346, 1969.

OLIVEIRA, E.P. O terreno Devoniano do sul do Brasil. **Annaes da Escola Minas de Ouro Preto**, v. 14, p. 31-41, 1912.

OLIVEIRA, E.P. Geologia e recursos minerais do estado do Paraná. **Monografia do serviço geológico e mineralógico**, v. 6, p.172, 1927.

OPPENHEIM, V. Geology of Devonian areas of Parana Basin in Brazil, Uruguay, and Paraguay. In: **Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists**, v. 20, p. 1208-1236, 1936.

OSGOOD, R.G. The history of invertebrate ichnology. In: FREY, R.W. (eds.), **The Study of Trace Fossils**. 1ª ed. Berlin: Springer, p. 3–12, 1975.

PEMBERTON, S.G. e FREY, R.W. Trace fossil nomenclature and the Planolites-Palaeophycus dilemma. **J Paleontol.**, v. 56, p. 843–881, 1982

PEMBERTON, S.G.; MACEACHERN, J.A. e FREY, R.W. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. In: WALKER, G.R.; JAMES, P.N. (eds.) **Facies models – response to sea level change**. 2ª ed. Stittsville: Geological Association of Canada, p. 47–72, 1992.

PEMBERTON, S.G. e WIGHTMAN, D.M. **Ichnological characteristics of brackish water deposits**. In: **Pemberton S.G. Applications of ichnology to petroleum exploration – A core workshop**. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core workshop v. 17, 1992.

PEMBERTON, S.G.; SPILA, M.; PULHAM, A.J.; SAUNDERS, T.; MACEACHERN, J.A.; ROBBINS, D. e SINCLAIR, I.K. **Ichnology e Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems: Ben Nevis e Avalon Reservoirs, Jeanne d'Arc Basin**. *Geol. Ass. Can., Short Course Notes*, v. 15, p. 343, 2001.

PEREIRA, E. e BERGAMASCHI, S. Estudo faciológico da Formação Furnas nas regiões de Ponta Grossa (PR), Castro (PR) e Tibagi (PR) – bacia do Paraná. **Simpósio de Geologia do Sudeste**, Rio de Janeiro RJ, p. 1–2, 1989. Trabalho apresentado no 1º Simpósio de Geologia do Sudeste, 1989, Rio de Janeiro, RJ.

PEREIRA, E. **Análise estratigráfica do Paleozóico Médio da sub-bacia do Alto Garças, no sudoeste de Goiás, Bacia do Paraná, Brasil**. 1992. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.

PEREIRA, E. e BERGAMASCHI, S. Estudo da evolução tectono-sedimentar das seqüências ordovicianas, siluriana e devoniana nas sub-bacias Apucarana e Alto Garças, Bacia do Paraná, Gondwana Ocidental. **Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano**. Ponta Grossa, PR, Brasil, p. 219–238, 1996. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Sulamericano do Siluro-Devoniano, 1996, Ponta Grossa, PR.

PEREIRA, E.; BERGAMASCHI, S. e RODRIGUES, M.A.C. Sedimentary evolution of the Ordovician, Silurian and Devonian sequences of Paraná Basin in Brazil. **Zentralblatt für Geologie und Paläontologie**, v. 3, n. 6, p. 779–792, 1998.

PEREIRA, E. **Evolução tectono-sedimentar do intervalo Ordoviciano-Devoniano da bacia do Paraná, com ênfase na sub-bacia de Alto Garças e no Paraguai Oriental**. 2000. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PETRI, S. Contribuição ao estudo do Devoniano paranaense. **Departamento Nacional da Produção Mineral**, pp. 125, 1948.

PETRI, S. Sedimentação pré-carbonífera da bacia do Paraná – tópicos especiais – resumo. **Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná**, Barra do Garças MT, p. 1, 1997. Trabalho apresentado no 3º Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1997, Barra do Garças, MT.

PETRI, S. e FÚLFARO, V.J. Considerações geológicas sobre a região de Itapeva, SP. **Bol. Soc. Bras. Geol.**, v. 16, p. 26-40, 1967.

PETRI, S. e FÚLFARO, V.J. Observações sobre o Siluriano do Brasil e sua bioestratigrafia. **XXIX Congresso Brasileiro de Geologia**, Belo Horizonte, MG, p. 75-79, 1976. Trabalho apresentado no 29º Congresso Brasileiro de Geologia, 1976, Belo Horizonte, MG.

PETRI, S. e FÚLFARO, V.J. **Geologia do Brasil (Fanerozóico)**. 1ª ed. São Paulo: T. A Queiroz/EDUSP, 1983.

PETRI, S. Considerações sobre o Siluro-Devoniano da Bacia do Paraná. **XI Congresso Brasileiro de Paleontologia**, Curitiba, PR, p. 1165-1174, 1989. Trabalho apresentado no 11º Congresso Brasileiro de Paleontologia, 1989, Curitiba, PR.

POPP, J.H. e BARCELLOS-POPP, M. Análise estratigráfica da seqüência devoniana da bacia do Paraná (Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, p. 187–194, 1986.



REINSON, G.E. Barrier-island and associated strand-plain systems. In: WALKER, R.G. (eds), **Facies Models**. Geoscience Canada, Reprint Series 1. Geol. Ass. Can., St. John's, p. 119–140, 1984.

RHOADS, D.C. The paleoecological and environmental significance of trace fossil. In: Frey, R.W. (eds.) **The Study of Trace Fossils**. 1ª ed. Berlim: Springer, p. 147-160, 1975.

RICHTER, K.W.; SEDORKO, D. e BOSETTI, E.P. Ichnological Research of Silurian–Devonian Strata and the Zoophycos Distribution in the Paraná Basin. **Terr@Plural**, v. 15, p. 1-12, 2021a.

RICHTER, K.W.; SEDORKO, D.; GOLTZ, G.; PEREIRA, I.K.; TAVARES, I.S. e BOSETTI, E.P. (2021b). Fácies e icnofósseis da Formação Furnas (unidade inferior e média) nas regiões dos municípios de Jaguariaíva e Piraí do Sul - PR. **Paleo PR/SC**, Blumenau – SC, 2021b. Trabalho apresentado no Paleo PR/SC, 2021b, Blumenau – SC.

RODRIGUES, M.A.C.; BORGHI, L. e SCHUBERT, G. (1988). Novas ocorrências de icnofósseis na Formação Furnas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 60, n. 1, p. 109, 1988.

RODRIGUES, M.A.C.; PEREIRA, E. e BERGAMASCHI, S. Ocorrência de Psilophytales na Formação Furnas, borda leste da Bacia do Paraná. **Boletim do IG-USP, Publicação Especial**, v. 7, p. 35-43, 1989.

RODRIGUES, M.A.C.; PEREIRA, E.; BERGAMASCHI, S. e LARANJEIRA, N.P.F. Aspectos estratigráficos do intervalo Neo-Ordoviciano–Mesodevoniano do bordo nordeste da bacia do Paraná (Sub-bacia do Alto Garças). **Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná**, p. 13–18, 1995. Trabalho apresentado no 2º Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1995.

ROY, P.S.; THOM, B.G. e WRIGHT, L.D. Holocene sequences on an embayed high-energy coast: an evolutionary model. **Sediment. Geol.**, v. 26, p. 1–19, 1980.

SANFORD, R. M. e LANGE, F. W. Basin study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, south Brazil. **American Association of Petroleum Geologists flw/fetin**, v. 44, p. 1316-1370, 1960.

SAES, G.S.; Oliveira, N.M.; Sundaram, D. e Freitas, J. Análise ambiental e seqüência estratigráfica do Grupo Chapada na borda Noroeste da bacia do Paraná, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. **Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná**, Rio Claro, SP, p. 20, 1993. Trabalho apresentado no 1º Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1993, Rio Claro, SP.

SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.F. e NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. **XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**, Porto Alegre – RS, p. 42-65, 1974. Trabalho apresentado no 28º Congresso Brasileiro de Geologia, 1974, Porto Alegre – RS.

SCHNEIDER, R.L. O sistema Devoniano da Bacia do Paraná e suas possibilidades petrolíferas. **Petrobrás (Relatório interno n. 5105)**, 1976.

SCHUBERT, G. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Devoniano da bacia do Paraná na borda NW, região de Chapada dos Guimarães - MT. **XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**, Camboriú, SC, p. 92–94, 1994. Trabalho apresentado no 38º Congresso Brasileiro de Geologia, 1994, Camboriú, SC.

SEDORKO, D.; NETTO, R.G. e BOSETTI, E.P. Paleocnologia do Siluro-Devoniano do estado do Paraná e a obra de John Mason Clarke. **Revista Terr@Plural**, Ponta Grossa, Número Especial, v. 7, p. 59-73, 2013.

SEDORKO, D.; NETTO, R.G.; SAVRDA, C.E.; ASSINE, M.L. e TOGNOLI, F.W.M. Chronostratigraphy and environment of Furnas Formation by trace fossil analysis: Calibrating the lower Paleozoic Gondwana realm in the Paraná Basin (Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 487, p. 307-320, 2017.

SEDORKO, D.; NETTO, R.G. e SAVRDA, C.E. Ichnology applied to sequence stratigraphic analysis of Siluro-Devonian mud-dominated shelf deposits, Paraná Basin, Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, v. 83, 81-95, 2018a.

SEDORKO, D.; BOSETTI, E.P. e NETTO, R.G. An integrative ichnological and taphonomic approach in a transgressive-regressive cycle: a case study from Devonian of Paraná Basin, Brazil. **Lethaia**, v. 51, p. 15–34, 2018b.

SEDORKO, D.; NETTO, R.G. e HORODYSKI, R.S. A Zoophycos carnival in Devonian beds: Paleoeological, paleobiological, sedimentological, and paleobiogeographic

insights. **Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 507, p. 188–200, 2018c.

SEDORKO, D.; BOSETTI, E.P.; GHILARDI, R.P.; MYSZYNSKI-JÚNIOR, L.J., SILVA, R.C. e SCHEFFLER, S.M. Paleoenvironments of a regressive Devonian section from Paraná Basin (Mato Grosso do Sul state) by integration of ichnologic, taphonomic and sedimentologic analyses. **Braz. J. Geol.** v. 48, n. 4, p. 805–820, 2018d.

SEDORKO, D.; NETTO, R.G. e HORODYSKI, R.S. Tracking Silurian-Devonian events and paleobathymetric curves by ichnologic and taphonomic analyzes in the southwestern Gondwana. **Global and Planetary Change**, v. 179, p. 43–56, 2019.

SEDORKO, D.; NETTO, R.G.; SCHEFFLER, S.M.; HORODYSKI, R.S.; BOSETTI, E.P.; GHILARDI, R.P.; MAULLER, P.M.; VARGAS, M.R.; SANTOS, R.V.; SILVA, R.C. e MYSZYNSKI-JÚNIOR, L.J. Paleocologic trends of Devonian Malvinokaffric fauna from the Paraná Basin as evidenced by trace fóssil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 109, p. 1-14, 2021.

SEDORKO, D.; NETTO, R.G.; MARTÍN, J.V.; DASGUPTA, S.; TOGNOLI, F.M.W.; PLANTZ, J.; CARELLI, T. e BORGHI, L. Golssifungites suites and tubular tempestites in Devonian shallow-marine deposits from Paraná Basin. **The Geological Society of London**, 2022.

SEILACHER, A. Biogenic sedimentary structures. In: Imbrie, J. and Newell, N.D. (eds.), **Approaches to Paleocology**. Wiley, New York, p. 296–316, 1964.

SEILACHER, A.; BUATOIS, L.A. e MÁNGANO, M.G. Trace fossils in the Ediacaran–Cambrian transition: Behavioral diversification, ecological turnover and environmental shift. **Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 227, p. 323–356, 2005.

SEILACHER, A. **Trace fossil analysis**. 1ª ed. Berlin: Springer, 2007.

SIMÕES, M.G. e GHILARDI, R.P. Protocolo tafonômico/paleoautoecológico como ferramenta nas análises paleossinecológicas de invertebrados: exemplos de aplicação em concentrações fossilíferas do Paleozóico da Bacia do Paraná, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 27, p. 3-13, 2000.

THOM, B.G.; ROY, P.S.; SHORT, A.D.; HUDSON, J. e DAVIS Jr., R.A. Modern coastal and estuarine environments of deposition in southeastern Australia. In: Guide for Excursion 4A, **12th International Sedimentological Congress, Canberra**, pp. 279, 1986.

TOGNOLI, F.M.W.; ASSINE, M.L. e NETTO, R.G. Roteiro Icnológico do Grupo Paraná [Folheto]. *Rio Claro: UNESP.*, p. 27, 2002.

TYSON, R.V. e PEARSON, T.H. Modern and ancient continental shelf anoxia: An overview. In: R.V. Tyson and T.H. Pearson (eds.) **Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia**, *Geological Society Special Publication*, v. 58, p. 1–24, 1991.

VIERA, A.J.V. Geologia do centro NE do Paraná e centro sul de São Paulo. **XXVII Congresso Brasileiro de Geologia**, Aracaju, SE, p. 259-277, 1973. Trabalho apresentado no 17º Congresso Brasileiro de Geologia, 1973, Aracaju, SE.

WALKER, R.G. e PLINT, A.G. Wave- and storm-dominated shallowmarine systems. In: Walker, R.G., James, N.P. (Eds.), *Facies Models: Response to Sea Level Change*. **Geol. Ass. Can., St. John's, Geotext**, v. 1, p. 219–238, 1992.

YOUNG, F.G. Early Cambrian and older trace fossils from the Southern Cordillera of Canada. **Can. J. Earth Sci.** v. 9, p. 1–17, 1972.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; VIEIRA, I.S.; ASTOLFI, A.M.; APPI, V.T. e ZANOTTO, O.A. A divisão tripartite do Siluriano da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, p. 242-252, 1987.

ZALÁN, P.V. Evolução estratigráfica da Bacia do Paraná. **Simpósio de Geologia Sudeste**, Rio de Janeiro, RJ, p. 206-207, 1989. Trabalho apresentado no Simpósio de Geologia Sudeste, 1989, Rio de Janeiro, RJ.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; APPI, V.T.; NETO, E.V.S.; CERQUEIRA, J.R. e MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. In: Leighton, M.W., Kolata, D.R., Oltz, D.F., Eidel, J.J. (eds.), **Interior cratonics basins**. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, p. 681–708, 1991.

ZONNEVELD, J.-P.; PEMBERTON, S.G.; SAUNDERS, T.D.A. e PICKERILL, R.K. Large, robust Cruziana from the Middle Triassic of northeastern British Columbia:

ethologic, biostratigraphic, and paleobiologic significance. **Palaios**, v. 17, n. 5, p. 435–448, 2002.