



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – *CAMPUS* MONTE CARMELO
INSTITUTO DE GEOGRAFIA

Vittor Cambria

ANÁLISE ICNOLÓGICA NO TESTEMUNHO 2-GG-1-PR, GRUPO ITARARÉ
(CARBONÍFERO SUPERIOR DA BACIA DO PARANÁ)

Monte Carmelo

Julho/2022

Vittor Cambria

**ANÁLISE ICNOLÓGICA NO TESTEMUNHO 2-GG-1-PR, GRUPO ITARARÉ
(CARBONÍFERO SUPERIOR DA BACIA DO PARANÁ)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Alessandretti (IG-UFU)

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Sedorko (MN – UFRJ)

Monte Carmelo – MG

Julho/2022

Vittor Cambria

**ANÁLISE ICNOLÓGICA NO TESTEMUNHO 2-GG-1-PR, GRUPO ITARARÉ
(CARBONÍFERO SUPERIOR DA BACIA DO PARANÁ)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Monte Carmelo, 25 de Julho de 2022.

Banca Examinadora

Dr. Luciano Alessandretti - Orientador
Universidade Federal de Uberlândia

Dra Carolina Aquino
Universidade Federal de Curitiba

Dr. João Dobler Lima
Grupo Ichnos/Unisinos

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C178	Cambria, Vittor, 1998-
2022	<p>ANÁLISE ICNOLÓGICA NO TESTEMUNHO 2-GG-1-PR, GRUPO ITARARÉ (CARBONÍFERO SUPERIOR DA BACIA DO PARANÁ)</p> <p>[recurso eletrônico] / Vittor Cambria. - 2022.</p> <p>Orientador: Luciano Alessandretti . Coorientador: Daniel Sedorko. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Geologia. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Geologia. I. , Luciano Alessandretti, 1986-, (Orient.). II. Sedorko, Daniel , 1990-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Geologia. IV. Título.</p>

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2: Gizele
Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Leonardo Borghi, coordenador do LAGESED-UFRJ, por disponibilizar o testemunho para análise e custear parte dos gastos da viagem ao Rio de Janeiro.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luciano Alessandretti, por custear parte dos gastos da viagem ao Rio de Janeiro e por toda orientação neste trabalho.

Ao coorientador Prof. Dr. Daniel Sedorko, por toda paciência e ensinamento ao longo desses anos, seu apoio e confiança foram fundamentais.

Ao técnico Msc. Caio Rangel, por todos os ensinamentos e discussões dentro Laboratório de Paleontologia Estratigráfica (LAPE).

Aos meus pais, por nunca terem medido esforços, me dando as melhores condições para que eu pudesse iniciar e concluir a minha graduação.

Aos meus avós paternos, por todo o apoio nessa caminhada.

Aos meus amigos de graduação, Guilherme Cristian e Fernando Resende, por me ajudarem sempre e pelas conversas geológicas.

Ao meu grupo do mapeamento geológico, por entender a minha ausência nesse período.

Aos meus amigos, João Victor, Fillipe, Mariana, Michele e Eugênio que acompanharam toda a minha trajetória.

A minha amiga Isa, que mesmo com a distância não deixou de me apoiar

“You don’t form in the wet sand

You don’t form at all”

Red hot Chili Peppers

“Tudo não terás”

O Advogado do Diabo

RESUMO

Icnofósseis são evidências de interações entre organismos e substratos que ficam registrados no tempo geológico. Em rochas sedimentares, os icnofósseis podem ser importante fonte de informação paleoecológica, permitindo inferências em variações na oxigenação, salinidade, aporte sedimentar, energia hidrodinâmica, entre outros parâmetros. Deste modo, análises icnológicas têm-se demonstrado eficazes, principalmente como ferramenta auxiliar em interpretações sedimentológicas, estratigráficas, paleobiológicas, paleoecológicas e paleoambientais, tanto em afloramentos, quanto em seções de subsuperfície. Os estratos do Grupo Itararé têm sido extensivamente explorados sob um escopo paleoicnológico nas últimas décadas, refinando paleoambientes associados com a dinâmica glacial. Esta unidade é caracterizada por rochas glaciogênicas depositadas durante a deglaciação da *Late Paleozoic Ice Age*. Dos mais de 1000 m de espessura, os estudos se concentram principalmente em fácies de ritimitos onde estão preservadas estruturas atribuídas a trilhas de artrópodes e escavações de invertebrados. Este trabalho analisou o testemunho 2-GG-1-PR (Guaragi, PR), disponibilizado pelo Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED-UFRJ), que amostrou as formações Lagoa Azul e Campo do Tenente (Grupo Itararé) contendo diversos icnofósseis ainda não reportados para a unidade. Nesse contexto, a análise icnológica aqui proposta almeja caracterizar os icnofósseis do testemunho 2-GG-1-PR (Carbonífero da Bacia do Paraná); integrar os dados sedimentológicos e icnológicos para interpretações paleoambientais do Grupo Itararé; e interpretar a relação entre as variações paleoecológicas e os ciclos glaciais. O intervalo foco deste estudo contém icnofósseis que correspondem a expressões das icnofácies *Glossifungites*, *Phycosiphon* e *Cruziana*, e indicam condições marinhas associadas à uma superfície de omissão, contexto de pró-delta e condições marinhas plataformais, respectivamente, indicando variações ambientais em um contexto glacio-marinho.

Palavras-chave: *Glossifungites*, Folhelhos, Prodelta, Estuário.

ABSTRACT

Ichnofossils are evidence of interactions between organisms and substrates that are recorded in geological time. In sedimentary rocks, trace fossils can be an important source of paleoecological information, allowing to track variations in oxygenation, salinity, sedimentary input, hydrodynamic energy, among other factors. Thus, ichnological analyzes can be applied to sedimentological, stratigraphic, palaeobiological, palaeoecological and palaeoenvironmental interpretations, both in outcrops and in subsurface sections. The strata of the Itararé Group have been extensively explored under a paleoichnological scope, revealing ichnofacies in diverse environments associated with glacial dynamics. This unit is characterized by glaciogenic rocks deposited during the deglaciation of Late Paleozoic Ice Age. Of the more than 1000 m thick, studies have focused mainly on rhythmic facies where structures attributed to arthropod trails and invertebrate excavations are preserved. This study analyzed the 2-GG-1-PR core (Guaragi, PR), made available by the Sedimentary Geology Laboratory (LAGESED-UFRJ), which sampled the Lagoa Azul and Campo do Tenente formations (Itararé Group) containing several trace fossils, unreported to the unit. In this context, the ichnological analysis proposed here aimed to characterize the ichnofossils of the 2-GG-1-PR (Carboniferous of the Paraná Basin); to integrate sedimentological and ichnological data for paleoenvironmental interpretations of the Itararé Group; and to interpret the relationship between palaeoecological variations and glacial cycles. The interval focus of this study contains ichnofossils that correspond to expressions of *Glossifungites*, *Phycosiphon* and *Cruziana* ichnofacies, and indicate marine conditions associated with an omission surface, pro-delta context and shelf marine conditions, respectively, indicating environmental variations in a marine glacial context.

Keywords: *Glossifungites*, Shale, Prodelta, Estuary.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Modelo das icnofácies individualizadas de acordo com o ambiente deposicional, extraído de Buatois e Mángano (2011).....16
- Figura 2. A:** Mapa de localização de onde poço 2-GG-1-PR foi extraído, e as vias de acesso que ligam o distrito de Guaragi até o local da extração17
- Figura 3.** Carta estratigráfica da Bacia do Paraná, entre os períodos Carbonífero Superior, Permiano e Triássico. Retirado de Holz et al. (2010)..... 19
- Figura 4.** Perfil estratigráficos do Grupo Itararé, correlacionando as formações proposta por Schenider et al., (1974), e França e Potter (1988, 1991). Extraído de Vesely et al (2021)..... 20
- Figura 5.** A. Folhelho escuro com lâminas finas de areia. B. Laminação heterolítica com lentes de areia, note a coloração escura, havendo a maior concentração de sedimentos finos. C. Arenito fino com acamamento *flaser* com *drapes* de argila . D. Acamamento *wavy* com aspecto brechado e fraturado, note as setas indicando as fraturas que formam um par conjugado, na base há um padrão ritmico, mas ao chegar no topo, a matriz se torna brechada. E. Arenito grosso maciço. F. Arenito fino com estratificação cruzada acanalada. G. Arenito fino com laminação plano paralela. H. Arenito conglomerático, clastos concentrados por toda a matriz. I. Paraconglomerado maciço com lentes de areia intercalada na matriz siltosa.....25
- Figura 6.** A. *Schaubcylindrichnus*. Em icnofábrica, é observado sua estrutura apenas como uma seção do tubo, onde o restante do mesmo encontra-se no eixo Z (Sc= *Schaubcylindrichnus*). B. *Palaeophycus*. Na seção basal do testemunho é possível observar a morfologia da escavação e seu comprimento, detalhe para os *Palaeophycus*, que são reconhecidos em cortes transversais no testemunho (Pa= *Palaeophycus*). C. *Phycosiphon*. Note a seta indicando a estrutura na lente de areia (Ph= *Phycosiphon*). D. *Rhizocorallium*. Com spreiten na horizontal partindo da abertura, indicado pela seta preta (Rh= *Rhizocorallium*). E. *Teichichnus*. Estrutura contendo mais de 2 cm de comprimento,

verificando o *spreiten* protusivo acima a primeira escavação (Te = *Teichnichus*). F. *Asterosoma*. Com formato circular da escavação em icnofábrica, não é permitido verificar as ramificações no eixo Z da rocha (As= *Asterosoma*). G. *Planolites*. Repare no contorno da estrutura em vermelho o padrão da escavação subverticalizada (Pa= *Planolites*). H. *Lingulichnus*. Na parede do poço é possível identificar parte da estrutura (Li= *Lingulichnus*). I. *Diplocraterion*. É permitido observar o preenchimento da escavação diferindo da matriz com uma capa de oxidação ao redor (Di= *Diplocraterion*)27

Figura 7. Seção estratigráfica representando a sucessão vertical de fácies encontradas na área de estudo, e o nível de ocorrência das estruturas biogênicas28

Figura 8. Fosseis corporais. A. Molde externo de uma lingula preservada em fácies folhelho. B. Fragmento de plantas em fácies folhelho, ambos os fósseis ocorrem associados29

Figura 9. Paleoambiente deposicional esquemático com as icnofábricas posicionadas ..36

LISTA DE TABELAS

Figura 1: Tabela com a descrição das fácies, icnofósseis, com o grau de bioturbação (Gb) e os processos deposicionais23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO COM FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E JUSTIFICATIVA.....	13
2. OBJETIVOS	15
3. REVISÃO CONCEITUAL	15
3.1 Estruturas biogênicas	15
3.2 Nomenclatura e Icnofácies	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1 Localização da área de estudo	17
5. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	17
6. RESULTADOS.....	22
6.1 Litofácies	22
6.2 Icnofábricas	26
6.2.1 Icnofábrica <i>Schaubcylindrichnus</i>	26
6.2.2 Icnofábrica <i>Glossifungites</i>	27
6.2.3 Icnofábrica <i>Phycosiphon</i>	27
6.2.4 Icnofábrica <i>Teichichnus</i>	27
7. DISCUSSÃO	30
7.1 Implicações Paleoambientais	36
8. CONCLUSÕES	37
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO COM FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E JUSTIFICATIVA

Estudos que integram a Icnologia à análise sedimentológica têm permitido inferir parâmetros paleoecológicos e paleoambientais em diversos depósitos sedimentares (PEMBERTON; MACEACHERN, 1995). Isso porque estruturas biogênicas são capazes de refletir o comportamento de seu produtor, os quais foram condicionados pelas condições paleoambientais (e.g. EKDALE, BROMLEY; PEMBERTON, 1984; PEMBERTON et al., 1992). Sendo assim, o reconhecimento de associações icnológicas possibilita interpretações para os sistemas deposicionais onde se preservaram, que não poderiam ser inferidas apenas com base em caracterização litofaciológica (SEDORKO; FRANCISCHINI, 2020).

Em sistemas glaciais há vários fatores controladores da distribuição da biota, tornando complexa a assinatura icnológica desses ambientes (HAMBREY, 1994). A dinâmica glacial pode ser analisada nas fases de *icehouse* e *greenhouse* (NETTO et al., 2012). Os processos de avanço e recuo das geleiras são capazes de alterar as atividades das biotas fazendo com que os organismos registrem essa dinâmica através das estruturas biogênicas, que refletem suas adaptações e comportamento (NETTO et al., 2012).

Na fase de degelo há a entrada de água doce nos subambientes associados, alterando os padrões de salinidade em condições marinhas. Neste sentido, podem se desenvolver colonizações oportunistas por organismos tolerantes a variações na salinidade (NETTO et al., 2012). As associações de traços fósseis de depósitos glaciais geralmente apresentam baixa icnodiversidade (BALISTIERI; NETTO; LAVINA, 2003). Isso se deve ao predomínio de condições adversas à vida, associadas ao pico glacial e aos processos altamente energéticos associados (fluxos gravitacionais, por exemplo). Dentre os parâmetros paleoecológicos, os substratos podem variar sua consistência dependendo dos processos de sedimentação, pois substratos do tipo *softground* são mais comuns perto da margem da geleira, enquanto *firmgrounds* estão relacionados à remoção de sedimentos por corrente e exposição de rochas semiconsolidadas (SCHATZ et al., 2011; EYLES; VOSSLER; LAGOE, 1992). Taxas de sedimentação altas também afetam fortemente a biota, limitando os processos de bioturbação. Além disso, a concentração de partículas finas (silte e argila) impossibilita a colonização de organismos de hábito suspensívoro (FEDER; MATHEKE, 1980). A partir dessas condições, os organismos detritívoros atuam preferencialmente nas camadas superiores dos substratos, que são, portanto, dominadas por traços horizontais (NETTO et al., 2012). Outro fator que condiciona o comportamento das icnofaunas é o oxigênio dissolvido no substrato, com concentração altamente variável (DOWDESWELL, 1989). Com isso, o fundo de alguns fiordes (particularmente aqueles em bacias fechadas) pode ser caracterizado pelo estresse na oxigenação, impedindo a colonização pela infauna; em outros casos, as

correntes de turbidez pode oxigenar o fundo, resultando em intensa bioturbação pós-evento (SCHATZ et al., 2012).

Durante o verão, a descarga de água doce associada ao degelo inunda rapidamente áreas previamente expostas, formando planícies de *outwash* (planície de sedimentos formada pelo degelo), podendo impactar lagos rasos ou de vales profundos, dependendo da topografia (NETTO et al., 2009, 2012). Já em períodos de inverno, a área disponível para as comunidades bentônicas torna-se restrita, pois as superfícies da água congelam, reduzindo o suprimento de alimentos, luz e oxigênio (NETTO et al., 2009, 2012).

No Brasil, o Grupo Itararé da Bacia do Paraná constitui um importante registro da glaciação Neopaleozoica, com depósitos associados à sistemas glácio-marinhos rasos e marginais, e glácio-lacustre (FRANÇA; POTTER, 1991; SANTOS; ROCHA-CAMPOS; CANUTO, 1996). Tal contexto glacial resultou em uma variedade de fácies e sistemas deposicionais (DE CASTRO, 1999), também com variadas composições icnológicas. Inicialmente, três unidades litoestratigráficas foram reconhecidas no Grupo Itararé: formações Campo do Tenente, Maфра e Rio do Sul (SCHNEIDER et al., 1974). Posteriormente, reconheceram-se estratos em subsuperfície, o que levou a nomenclatura de outras formações: Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba (FRANÇA; POTTER, 1988, 1991)

Os icnofósseis do Grupo Itararé foram investigados principalmente para a Formação Rio do Sul, composta por folhelhos, ritmitos, diamictitos, argilitos e arenitos finos, depositados em sistemas costeiros a marinhos rasos (GLAESSNER, 1957; ROCHA-CAMPOS, 1967; SCHNEIDER et al., 1974; FERNANDES; CARVALHO; NETTO, 1987; MARQUES-TOIGO et al., 1989; SANTOS; ROCHA-CAMPOS; CANUTO, 1996; NOGUEIRA; NETTO, 2001A; BUATOIS et al., 2006; NETTO et al., 2009; LIMA et al., 2015). A maioria das icnoassociações é composta por trilhas de artrópodes e escavações de invertebrados, preservadas nas fácies de ritimitos (NETTO et al., 2009; LIMA et al., 2015). Esta assinatura icnológica também é observada em depósitos do Paleozoico Superior de outras bacias gondwânicas (BUATOIS et al., 2006, 2010; NETTO et al., 2012). Considerando a interpretação paleoambiental destes ritimitos, Lima et al. (2015) utilizaram as características dos icnofósseis e estruturas sedimentares induzidas pela ação microbiana (sigla no inglês, MISS, e.g. NOFFKE et al., 2002) para argumentar que esses ritmitos foram colonizados em lagos que passaram por exposição subaérea por um período. Dados neoicnológicos corroboraram esta interpretação (NETTO et al., 2021).

O conteúdo icnológico dos ritmitos da Formação Rio do Sul foi agrupado em duas icnocenos (NOGUEIRA; NETTO, 2001B; BALISTIERI; NETTO; LAVINA, 2002, 2003). A primeira é composta por *Cochlichnus*, *Gordia*, *Helminthoidichnites*, *Hormosiroidea* e *Treptichnus* representativos da icnofácies *Mermia*, registrando atividade de pastagem (BUATOIS et al., 2006; NETTO et al., 2009). A segunda é composta por *Diplichnites gouldi*, *Diplopodichnus biformis* e *Cruziana problematica*,

representativos da icnofácies *Scoyenia*, que registra traços de locomoção de artrópodes durante períodos de exposição subaérea. Este trabalho acessou principalmente escavações, pois o material de estudo é um testemunho de sondagem. Neste sentido, a composição icnológica embasou a interpretação paleoambiental nos intervalos em que os icnofósseis se fazem presentes.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho teve como objetivos principais: (i) caracterizar os icnofósseis do testemunho 2-GG-1-PR (Grupo Itararé, Carbonífero da Bacia do Paraná), (ii) integrar dados sedimentológicos e icnológicos visando interpretações paleoambientais, e (iii) investigar a relação entre as variações paleoecológicas e os ciclos glaciais.

3. REVISÃO CONCEITUAL

Esta seção é dedicada à revisão do tema central do Trabalho de Conclusão de Curso, a Icnologia. O principal objetivo da seção é demonstrar a aplicabilidade das estruturas sedimentares biogênicas como ferramenta auxiliar na análise sedimentar, refinando as interpretações paleoambientais.

3.1 Estruturas biogênicas

Traços fósseis (ou icnofósseis), são estruturas biogênicas que registram o comportamento dos organismos nos mais variados tipos de substratos, condicionados pelos parâmetros paleoecológicos do meio (SEILACHER, 1964; BROMLEY, 1996). Frey (1971, 1973) propôs um esquema classificatório subdividindo as estruturas biogênicas em três categorias principais: (1) estruturas sedimentares biogênicas; (2) estruturas de bioerosão; e (3) outras evidências de atividade.

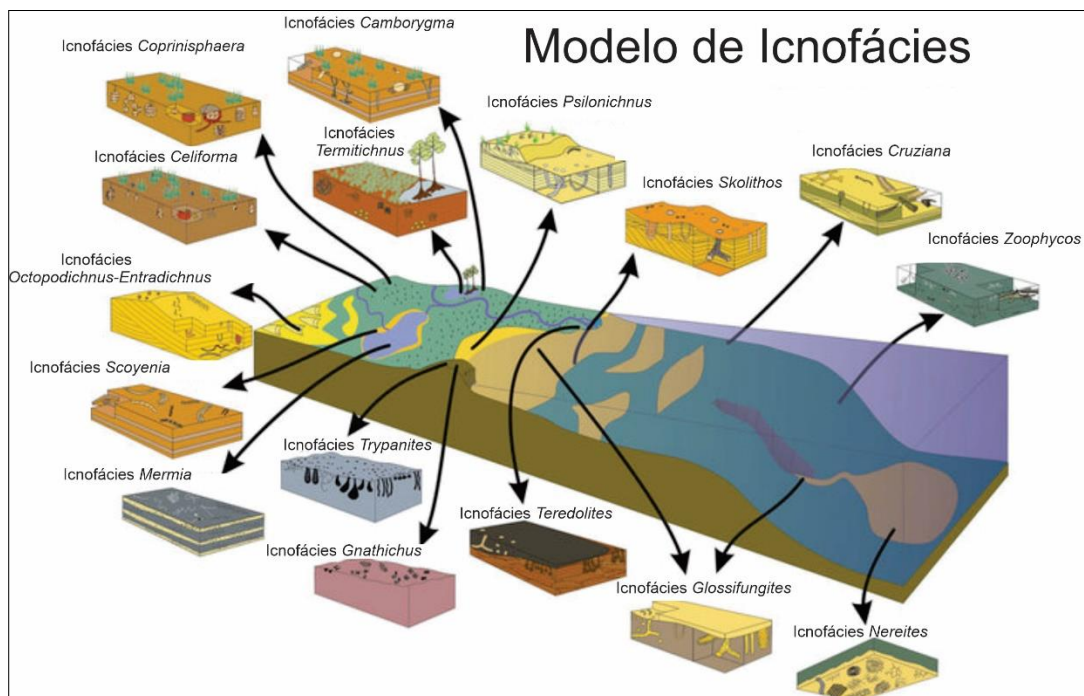
Estruturas sedimentares biogênicas são subdivididas em estruturas de bioturbação (produzidas durante a perturbação da estratificação original de substratos inconsolidados, envolvendo a ação biomecânica do animal); as estruturas de bioestratificação (deposição estratificada de sedimento por meio da ação biológica); e as estruturas de biodeposição (produção, concentração e/ou deposição de clastos por um organismo) (SEDORKO; FRANCISCHINI, 2020). As estruturas de bioerosão são aquelas que perfuram substratos rígidos ou consolidados (líticos, xílicos ou esqueletos biomineralizados) (NEUMANN, 1966). Já as outras evidências de atividade biológica não são necessariamente preservadas em um substrato, mas refletem comportamentos e são passíveis de preservação no registro geológico (por exemplo, teias de aranha e cápsulas de ovos) (SEDORKO; FRANCISCHINI, 2020).

3.2 Nomenclatura e Icnofácies

Os traços fósseis são divididos em duas categorias, icnogênero e icnoespécie, reconhecidas pelo

ICZN (Código Internacional de Nomenclatura Zoológica, na sigla em inglês, 1999). Quando há uma associação de traços fósseis condicionados pelas condições físico-químicas do meio, e esse padrão se repete temporalmente, dá-se o nome de icnofácies (e.g. SEDORKO; FRANCISCINHINI, 2020). O modelo original foi postulado por Seilacher (1967), onde os parâmetros do meio condicionavam a formação das estruturas biogênicas, sendo a composição da associação icnofossilífera é o critério principal para inferir a icnofácies (SEDORKO; FRANCISCINHINI, 2020) (Figura 1).

Figura 1: Modelo das icnofácies individualizadas de acordo com o ambiente deposicional, extraído de Buatois e Mángano (2011).



4. MATERIAIS E MÉTODOS

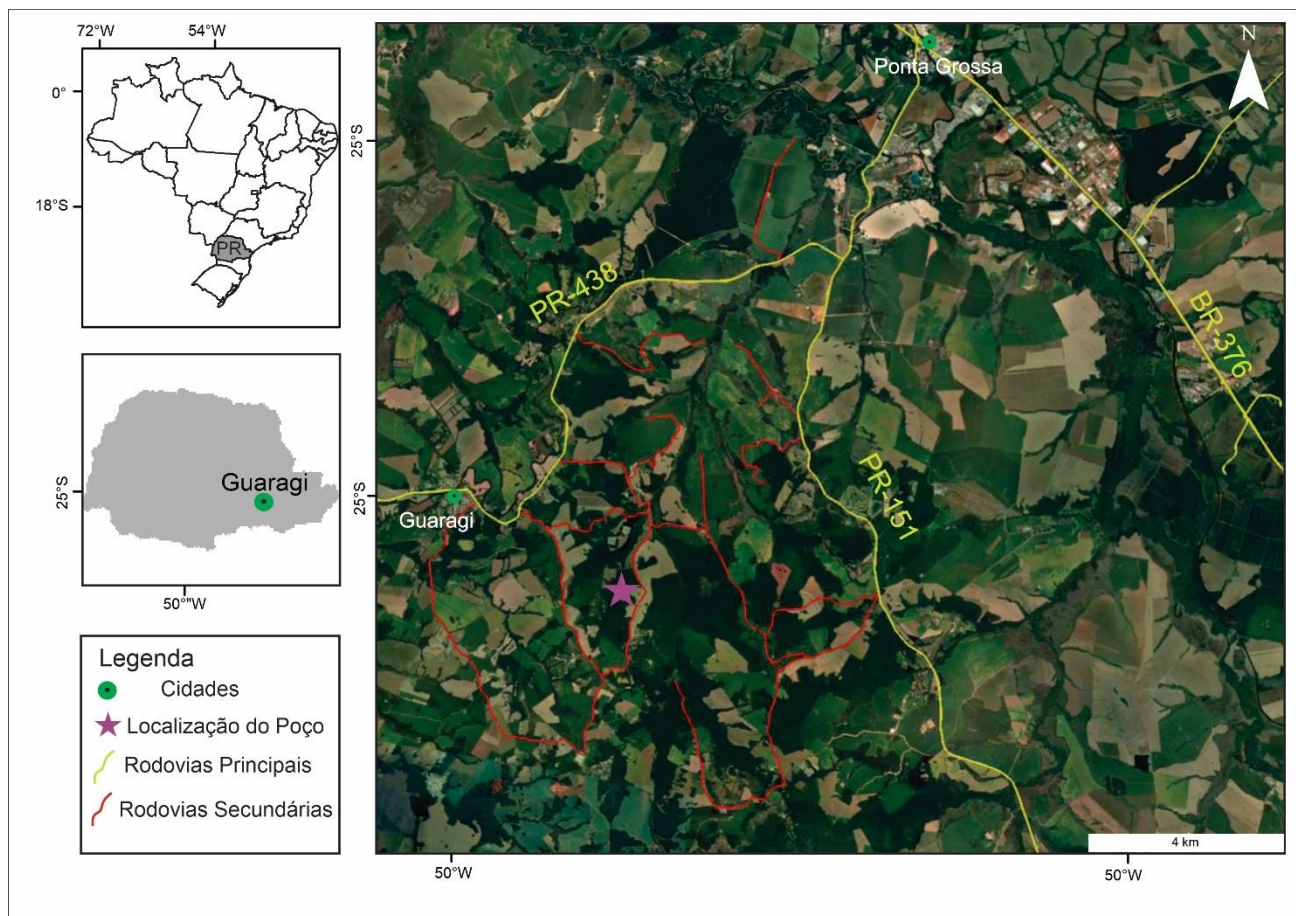
O testemunho de sondagem 2-GG-1-PR foi disponibilizado pelo Laboratório de Geologia Sedimentar da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LAGESED-UFRJ) e amostrou fácies basais do Grupo Itararé. O testemunho possui 120 m de espessura, com estruturas sedimentares biogênicas localizadas em intervalos específicos. Após a pesquisa bibliográfica, o trabalho consistiu na caracterização faciológica da seção, considerando os aspectos texturais e litológicos, bem como as estruturas sedimentares físicas de acordo com Miall (1996) e a descrição das estruturas sedimentares biogênicas. Estas foram quantificadas conforme a escala de Reineck (1963), que varia de 0 (rocha sem estruturas de bioturbação) até 6 (rocha homogeneizada pela atividade biogênica). Já a caracterização dos icnotáxons foi baseada nos critérios de identificação (icnotaxobases) propostos por Bromley (1996) e Knaust (2017). A fase descritiva foi desenvolvida no LAGESED-UFRJ, com auxílio de lupa

estereoscópica. Este trabalho foca nos intervalos que contém icnofósseis, para os quais foi proposto um contexto paleoambiental.

4.1 Localização da área de estudo

O testemunho 2-GG-1-PR foi adquirido entre 2006 e 2007 no distrito de Guaragi, Ponta Grossa, sudeste do estado do Paraná. O acesso a área de aquisição ocorre por vias secundárias (Figura 2), a partir do distrito de Guaragi, com uma distância média de 6 km (coordenadas 7205356.82 mS 579286.66 mE).

Figura 2: Mapa de localização de onde poço 2-GG-1-PR foi extraído, e as vias de acesso que ligam o distrito de Guaragi até o local da extração



5. CONTEXTO GEOLÓGICO

Por meio da geodinâmica entre blocos continentais convergentes, é possível entender o preenchimento e evolução tectônica das bacias sedimentares associadas ao processo colisional, (DECELEES; GILES, 1996). Nesse sentido, entre o Ordoviciano médio ao Triássico Inferior, a litosfera oceânica do Panthalassa estava em processo de subducção ao longo de toda a margem sul do

paleocontinente (MILANI; RAMOS, 1998). Ao mesmo tempo, vários terrenos alóctones foram amalgamados à margem sudoeste do Gondwana, resultando em uma sequência de eventos orogênicos e processos de subsidência (RAMOS, 2008). Esses terrenos colidiram na margem SW do Gondwana, tendo sua orogenia datada do Ordoviciano ao Neotriássico (RAMOS et al., 1984; JUSTINO, 2016). Para cada um dos terrenos que se chocaram tem-se cronologia datada, sendo Ordoviciano para Cuyania, Eocarbonífero para Chilenia e Permiano inferior para Patagonia (RAMOS et al., 1984; RAMOS, 2008; BOEDO et al., 2016). Neste contexto se desenvolveram bacias do tipo ante-país (*foreland*) nas margens dos cinturões orogênicos, resultado da subsidência flexural (MILANI, RAMOS, 1998; MILANI, DE WIT, 2008; RAMOS, 2008).

Atrelado aos eventos colisionais há a geração de espaço de acomodação na Bacia do Paraná (ZALÁN et al., 1990; MILANI, 1992, 1997, 2007), resultado da subsidência flexural causada pela carga dos empurrões formados no limite de placas convergentes (DECELLES; GILES 1996; MILANI, 2007). Com o crescimento da litosfera continental na porção sul do Gondwana o continente se fechou de forma gradual, encerrando as incursões marinhas durante o Permiano (MILANI; RAMOS, 1998). Sendo assim, a Bacia do Paraná evoluiu para uma depressão intracratônica Gonwânica (ZALÁN et al., 1990; MILANI, 1992; MILANI; RAMOS, 1998).

A Bacia do Paraná é uma extensa bacia intracratônica que está disposta na plataforma sul-americana, nas regiões sul e sudeste do Brasil. Ela cobre uma área de aproximadamente 1.700.000 quilômetros quadrados, possuindo direção nordeste-sudoeste (HOLZ et al., 2010). A evolução da Bacia do Paraná ocorreu durante o Paleozoico e Mesozoico, e subdivide-se em seis supersequências: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, que representam sequências sedimentares de ciclos transgressivos-regressivos no Paleozoico (MILANI; RAMOS, 1998), além de Gondwana II, Gondwana III e Bauru, com rochas sedimentares que foram depositadas em sistemas continentais no Mesozoico, com associações magmáticas (MILANI; RAMOS, 1998)

A supersequência Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), é a unidade mais antiga da bacia do Paraná, depositada sobre o embasamento e registrando o primeiro ciclo transgressivo-regressivo (MILANI, 2007). É subdividida nas formações Alto da Garça (base), Iapó (intermediária) e Vila Maria (topo) compondo o grupo Rio Ivaí (ASSINE; SOARES; MILANI, 1994; MILANI, 2007). Já a Supersequência Paraná (Siluro-Devoniano) sucede a Rio Ivaí, sendo composta pelas Formações Furnas (base) e Ponta Grossa (MILANI, 2007). É composta por sedimentos siliciclásticos, com predomínio da fração areia na formação basal e pelitos na unidade superior (ASSINE, 1996; MILANI, 2007).

A supersequência Gondwana I (Carbonífera- Eotriássica) registra distintas condições deposicionais que vão desde períodos de sedimentação com influência glacial até sedimentação sob condições de clima árido (MILANI et al., 1994; MILANI, 1997). A unidade é constituída pelos Grupos

Itararé, Guatá e Passa Dois (Figura 3). Os primeiros possuem caráter transgressivo, já o Grupo Passa Dois corresponde a uma seção regressiva.

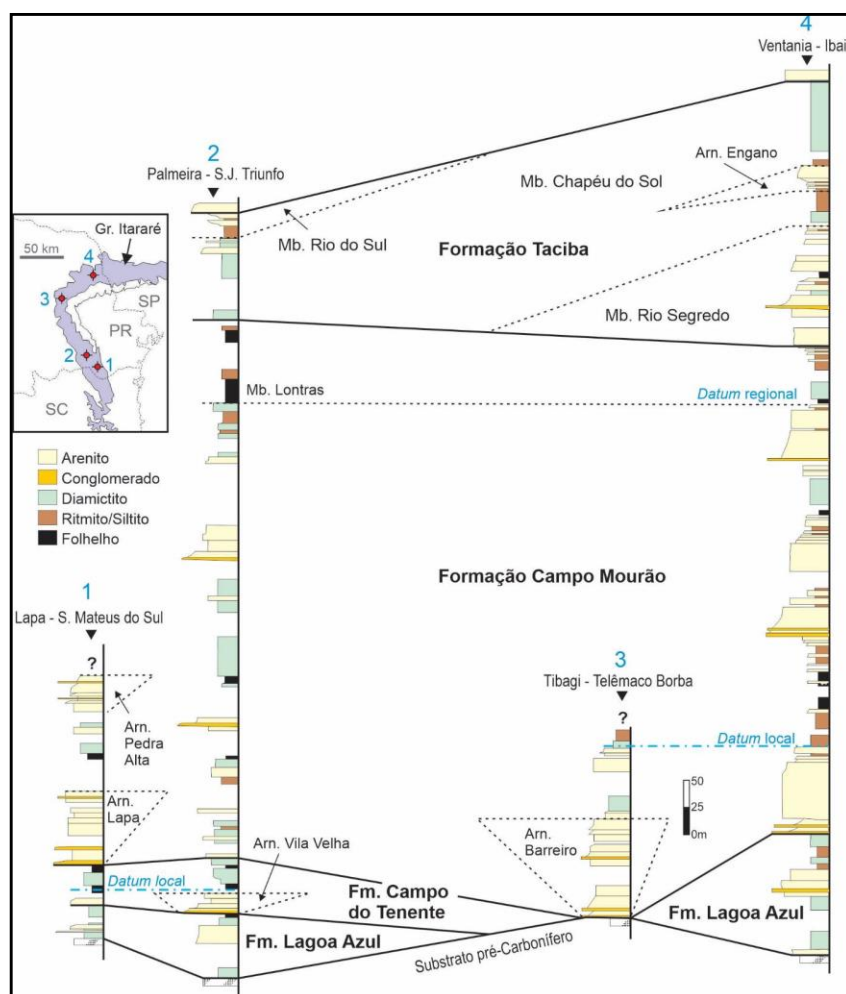
Figura 3: Carta estratigráfica da Bacia do Paraná, entre os períodos Carbonífero Superior, Permiano e Triássico. Retirado de Holz et al. (2010)

Geocronologia		Litoestratigrafia			
TRIÁSSICO 251.0±0.4		Sanga do Cabral/ Pirambóia			
PERMIANO	Lopingiano	Changhsingiano	GRUPO PASSA DOIS	Rio do Rasto	
		Wuchiapingiano			
		Capitaniano			
		Wordiano			
		Roadiano			
	Guadalupiano	Kunguriano	Teresina		
		Artinskiano	Serra Alta		
		Sakmariano	Irati		
		Asseliano	GRUPO GUATÁ	Palermo	
		Gzheliano		Rio Bonito	
CARBONÍFERO SUPERIOR	Cisuraliano	Aseliano	SUPERGRUPO TUBARÃO	Taciba	
		Kasimoviano		GRUPO ITARARÉ	Campo Mourão
		Moscoviano			Lagoa Azul
	Pensivaniano	Bashkirian			

A supersequência Gondwana II (Triássico) foi depositada durante o Eo- Triássico, e é representada pela Formação Santa Maria, composta por sedimentos pelítico interpretados como uma transgressão lacustre (MILANI et al., 2007). A supersequência Gondwana III (Jurássico-Cretáceo) é caracterizada por sedimentos eólicos da Formação Botucatu e magmatismo da Formação Serra Geral (MILANI et al., 2007). A Formação Serra Geral compreende rochas formadas por vulcanismo não oceânico que interceptou várias seções sedimentares da Bacia do Paraná, representada por basaltos toleíticos e andesitos basálticos, e em menor ocorrência por riolitos e riodacitos (MILANI et al., 2007). Por fim, a supersequência Bauru (Eo-Cretáceo), é constituída por sedimentos pós vulcânicos e siliciclásticos representando ambiente árido a semi-árido (MILANI et. al., 2007), sendo dividida nos grupos Bauru e Caiuá, representados por depósitos de clima semi-árido originados por sistemas fluviais efêmeros em lençóis de areias (MILANI et. al., 2007).

As três primeiras supersequências são representadas por sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivos-regressivos ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozoico, ao passo que as demais correspondem a pacotes de sedimentos continentais com rochas ígneas associadas (MILANI; RAMOS, 1998). A divisão litoestratigráfica do Grupo Itararé foi proposta por vários autores. Inicialmente Schneider et al. (1974) subdividiram o grupo nas formações Campo do Tenente (basal), Mafra (intermediária) e Rio do sul (topo). Já França e Potter (1988, 1991), utilizando dados de poço, propuseram outra divisão do grupo, individualizando ciclos de granodécrescentes com limites discordantes, resultando nas formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba (DE CASTRO; WEINSCHÜTZ, 2004; AQUINO et al., 2016). O reconhecimento de novas formações em subsuperfície fez com que a divisão proposta por Schneider et al. (1974) pudesse ser correlacionada (Figura 4).

Figura 4: Perfil estratigráfico do Grupo Itararé, correlacionando as formações propostas por Schneider et al., (1974 e Já França e Potter (1988, 1991). Extraído de Vesely et al. (2021)



Muitos autores sugeriram que a deposição do Grupo Itararé se deu exclusivamente em ambiente glacio-terrestre (e.g. LEINZ, 1937; ALMEIDA, 1948). Entretanto, tem-se demonstrado que a parte da

sedimentação do Grupo Itararé se deu em ambientes glacio-marinhos, principalmente com o apoio de fósseis marinhos de braquiópodes, e pela ocorrência do folhelho “Passinho” e “Lontras”, uma superfície de transgressão máxima (STM) localizada no topo da Formação Taciba (ROCHA-CAMPO, 1967; BALISTIERI; NETTO; LAVINA, 2003; VESELY E ASSINE, 2006; NETTO et al., 2009). As formações podem ser separadas por superfícies-chave (FRANÇA; POTTER, 1991; FRANÇA; WINTER; ASSINE, 1996; SANTOS; ROCHA-CAMPOS; CANUTO, 1996; D’ÁVILA, 1999; CANUTO et al. al., 2001), e descritas como sequências deposicionais (VESELY E ASSINE, 2003; D’ÁVILA, 2009). Sendo assim, para o estado do Paraná, o Grupo Itararé pode ser subdividido em quatro formações, atualizando aquelas propostas por França e Potter (1988), da base para o topo, Lagoa Azul, Campo do Tenente, Campo Mourão e Taciba (VESELY et al., 2021).

A formação basal é composta por fácies de arenito grosso, diamictitos, arenito com acamamento *flaser* com clastos polimíticos e arenitos com estratificações, apresentando marcas como sulcos e deformações glaciais, indicativa da ação erosiva do gelo na sedimentação (TROSDFORF et al., 2005; VESELY et al., 2015; ROSA et al., 2019; GARCIA et al., 2021; VESELY et al., 2021). Já a porção superior da Formação Lagoa Azul é composta por fácies pelíticas e diamictitos, representado por folhelhos, ritmitos, e *dropstones*, sendo os diamictitos relacionados a deslizamentos subquosos (VESELY et al., 2021), apontando para ambientes costeiros ou marinhos marginais devido ao indicativo de água salobra pelos palinomorfos (VESELY et al., 2021).

A Formação Campo do Tenente corresponde à descrição de Schenider et al. (1974), apresentando um contato erosivo entre a base da unidade e o topo da Formação Lagoa Azul (VESELY, et al., 2021). Kipper et al. (2017), analisando palinomorfos e com o mapeamento de detalhe proposto por Vesely et al. (2021) posicionaram a formação no Pensilvaniano. Maack, (1946) e Vesely et al. (2021), ao observarem as fácies do arenito Vila Velha, sugeriram paleoambiente de alta energia dominado por correntes tracionais, provavelmente flúvio-deltaico e/ou costeiro. Os ritmitos e folhelhos sotopostos aos arenitos indicam paleoambiente com variações nos ambientes deposicionais subglaciais (VESELY et al., 2018), com palinomorfos sugerindo ambientes de água salobra em contexto de embaçamento próximo à costa (FRANÇA; WINTER; ASSINE, 1996; KIPPER; SOUZA; VESELY, 2017). A Formação Campo Mourão é equivalente à Formação Mafra proposta por Scheneider et al. (1974), apresentado uma discordância na base, onde parte do pacote sedimentar foi depositado sobre os pelitos da Formação Ponta Grossa (FRANÇA; WINTER; ASSINE, 1996; PERDONCINI, 1997; VESELY, 2006; VESELY, 2021).

As fácies da Formação Campo Mourão são divididas em três ciclos granodecrescentes, relacionados ao avanço e recuo das geleiras (CARVALHO; VESELY, 2017), tendo predomínio de arenitos grossos maciços, estratificações cruzadas e *climbing ripple*, com o topo da formação pelítico

(Folhelho Lontras) (VESELY; ASSINE, 2004, 2006). Os ambientes deposicionais da formação transitam entre fluviais até marinhos, associados a deltas, ambientes costeiros, e fluxos gravitacionais (VESELY et al., 2021). A Formação Taciba, topo do Grupo Itararé, é subdividida em fácies arenito na base, diamictitos e lamitos no topo representado por folhelhos e heterolitos, onde o contato entre as fácies do topo é transicional, havendo interdigitação entre elas (FRANÇA; POTTER, 1988; VESELY, et al., 2021). Há variedade de fácies na unidade, sendo representadas por arenitos médios a muito grossos, com estratificação cruzada planar ou acanalada, conglomerados polimíticos, diamictitos, ritmitos e heterolitos (VESELY et al., 2021). A idade da formação é tida como Eopermiano, através de palinomorfos fossilizados nos diamictitos (MOTTIN et al., 2018; VESELY et al., 2021). Porém, datações radiométricas obtidas nas unidades da Supersequência Gondwana I (CAGLIARI et al. 2016) posicionaram a base da Formação Rio Bonito no Permiano inferior e o topo do Grupo Itararé como Carbonífero superior para o estado do Rio Grande do Sul

O testemunho aqui analisado preserva a passagem dos diamictitos e folhelhos da Formação Lagoa Azul para o arenito Vila Velha (Formação Campo do Tenente). Porém, icnofósseis estão presentes apenas nas fácies da primeira unidade citada, intervalo foco deste estudo (entre 20 e 50 m no testemunho 2-GG-1-PR). Embora os icnofósseis do Grupo Itararé sejam conhecidos desde o início do século XX (e.g. MAURY, 1927; LANGE, 1952), pouco se avançou na compreensão de seu significado em fácies que não representam ritimitos.

6. RESULTADOS

Esta seção está dividida em duas partes: fácies e icnofósseis. As descrições serão usadas para a análise integrada apresentada na seção de discussões.

6.1 Litofácies

Com base nas estruturas sedimentares primárias, textura, composição e relações de contato foram identificadas e descritas 9 litofácies siliciclástica e agrupada em três associações de acordo com os intervalos. As principais características de cada uma das litofácies e seus processos deposicionais são apresentados na Figura 5 e na Tabela 1.

Associação de fácies A

Essa associação é composta por folhelhos (Fl), arenito com acamamento *wavy* (Wv) e *linsen* (Lns), arenito com estratificação cruzada acanalada (St), plano paralela (Sh) e arenito maciço (Sm). A sucessão estratigráfica tem prevalência de arenito maciço (Sm), arenito com estruturas primárias de fluxo superior e inferior na base (Sh e St)

Associação de fácies B

Essa associação é composta por heterolitos com laminação do tipo *flaser*, (Fls), folhelhos

(Fl), arenito maciço (Sm) e conglomerados (Gmm) na porção intermediária, contendo icnofósseis.

Associação de fácies C

Essa associação é composta por arenito com estratificação cruzada acanalada (St), plano paralela (Sh), arenito maciço (Sm), arenito conglomerático (Sg), arenito com estratificação cruzada acanalada (St), plano paralela (Sh) e arenito maciço (Sm).

Os arenitos finos com estratificações cruzadas acanaladas (St) ocorrem de forma pontual, por vezes com intraclastos lamosos ou *drapes* de argila, com fraturamento na porção basal. As estratificações plano paralela (Sh) ocorrem em arenito fino a médio, com pequenas lâminas de argila, por vezes com clastos dispersos na matriz, essa forma de leito é predominante nos três intervalos do perfil. Os arenitos conglomeráticos (Sg) ocorrem no intervalo 3 (Tabela 1), geralmente sobrepostos aos paraconglomerados.

Arenitos fino a grosso maciços (Sm) ocorrem de maneira pontual no primeiro intervalo, sendo mais comuns no terceiro intervalo (Figura 7), apresentando estruturas de escape de fluídos, por vezes com intervalos de argila no meio e clastos dispersos na matriz. Os paraconglomerados (Gmm) são restritos à base do terceiro intervalo, alternados por arenitos com clastos provenientes do folhelho, tendo em média 2 cm.

Folhelhos (Fl) são pontuais na base da seção contendo seixo pingado, e representam todo o segundo intervalo, onde se concentra grande parte dos icnogêneros (GB 1-3) e fósseis corporais, fragmento de plantas e *Lingularia imbituvensis* (Figura 8). Localmente ocorre lâminas de areia no meio da matriz. Os heterolitos com as laminações *Flaser*, *Wavy* e *Linsen* variam em proporção de areia e argila, ao longo de toda a seção, havendo o pedomínio do tipo *linsen* no intervalo 2, com alto grau de bioturbação (5-6), não conseguindo distinguir entre as lentes de areia e argila.

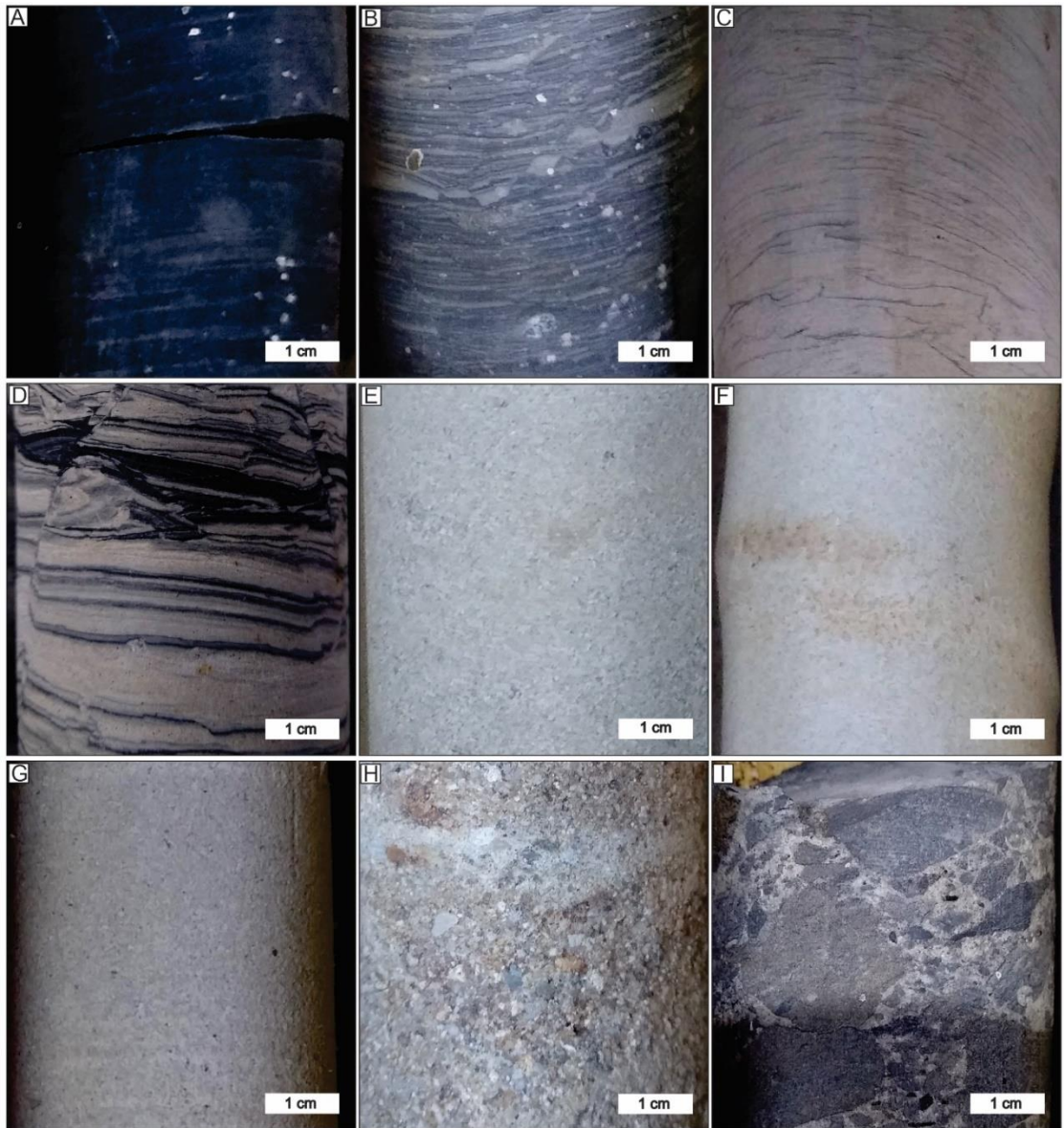
Tabela 1: Tabela com a descrição das fácies, icnofósseis, com o grau de bioturbação (GB) e os processos deposicionais.

Código	Fácies	Icnofósseis	Processos Depositionais	Fig	Gb
Fl	Folhelho por vezes apresentam clastos de outra rocha e <i>dropstone</i> . Em algumas camadas, há uma mudança na tonalidade, ficando mais claro. Por vezes são	<i>Rhizocorallium</i> , <i>Planolites</i> , <i>Skolithos</i> , <i>Schaubcylichnus</i> , <i>Diplocraterion</i> , <i>Palaeophycus</i> , <i>Phycosiphon</i>	Deposição por decantação em ambientes com nenhuma energia hidrodinâmica. Os <i>dropstones</i> associados são depositados por fluxos gravitacionais,	5A	1-3

	encontrados clastos com formato arredondado.		provenientes das geleiras associadas. Os clatos arredondados indicam que passaram pelo processo de retrabalhamento, transportado por água principalmente		
Lns	Acamamento <i>linsen</i> , com alternância entre lentes de areia e argila, predominando a fração argila. Apresenta <i>dropstones</i> e laminação convoluta em algumas porções.	<i>Phycosiphon</i> , <i>Lingulicnhus</i> , <i>Schaubcylindrichnus</i> , <i>Thalassinoides</i> , <i>Planolites</i> , <i>Palaeophycus</i> , <i>Rhizocorallium</i> , <i>Asterosoma</i>	Deposição pela alternância dos fluxos de tração e decantação. Os <i>dropstones</i> associados são depositados por fluxos gravitacionais, provenientes das geleiras associadas. As laminações convolutas se originam de processos deformacionais causados pelos <i>dropstones</i>	5B	5-6
Fls	Acamamento <i>flaser</i> , com predomínio de sedimento tamanho areia, onde as lentes de argila não apresentam um padrão contínuo na matriz arenosa	Ausente	Deposição pela alternância dos fluxos de tração e decantação	5C	0-1
Wv	Acamamento <i>wavy</i> , com alternância entre lentes de areia e argila, com proporções iguais de tamanho de grão. Por vezes apresentam par de fraturas conjugados	<i>Phycosiphon</i>	Deposição pela alternância dos fluxos de tração e decantação. As fraturas se cruzando são indicativos de peso glacio eustático de camadas sobrepostas	5D	0
Sm	Arenito fino maciço, com geometria tabular. Por vezes algumas camadas apresentam clastos e lentes de argila. Por vezes apresentam estruturas de escape de fluidos	<i>Phycosiphon</i> , <i>Palaeophycus</i> , <i>Thalassinoides</i> , <i>Planolites</i> , <i>Teichichnus</i>	Esse estrutura ocorre devido a perda de estruturas primárias por sobrecarga ou deposição por espraiamento (efeito <i>fallout</i>). As estruturas de escape formadas devido ao sedimento incosolidado, que libera fluídos devido	5E	5

			ao peso de camadas depositadas acima.		
St	Arenito fino, com estratificação cruzada acanalada, pontualmente apresentam lentes de argila. Por vezes ocorrem <i>drapes</i> de argila na matriz	Ausente	Migração de Dunas de cristas sinuosas a partir de correntes unidirecionais, com leve variação no fluxo indicado pelos lentes de argila	5F	0
Sh	Arenito fino à médio, com estratificação plano paralela, por vezes apresentam lâminas de argila e clastos.	Ausente	Regime de fluxo superior com sedimentos tracionados de forma horizontal.	5G	0
Sg	Arenito grosso, apresentando seixos em sua matriz.	Ausente	Fluxo de detritos de detritos gravitacional, produto do decréscimo do congelamento friccional	5H	0
Gmm	Paraconglomerado com clastos de folhelho principalmente, sustentado pela matriz arenosa	Ausente	Depositado por fluxos retabalhando os clastos de folhelhos com sedimentos plásticos na matriz.	5I	0

Figura 5 A. Folhelho escuro com lâminas finas de areia. B. Heterolito com laminação *linsen*, note a coloração escura, havendo a maior concentração de sedimentos finos. C. Arenito fino com acamamento *flaser* com *drapes* de argila. D. Acamamento *wavy* com aspecto brechado e fraturado, note as setas indicando as fraturas que formam um par conjugado, na base há um padrão ritmico, mas ao chegar no topo, a matriz se torna brechada, mostrando influência do peso de camadas sobrepostas. E. Arenito grosso maciço. F. Arenito fino com estratificação cruzada acanalada. G. Arenito fino com laminação plano paralela. H. Arenito conglomerático, clastos concentrados por toda a matriz. I. Paraconglomerado maciço com lentes de areia intercalada na matriz siltosa.



6.2 Icnofábricas

As estruturas biogênicas foram identificadas através das icnotaxobases propostas por Bromley (1996) e Knaust (2017), considerando a morfologia da estrutura, tipo de parede, preenchimento, orientação na camada e ramificações. Foram reconhecidas quatro icnofábricas: *Schaubcylindrichnus*, *Glossifungites*, *Phycosiphon* e *Teichichnus*.

6.2.1 Icnofábrica *Schaubcylindrichnus*

Essa icnofábrica é formada predominantemente por escavações que apresentam parede espessa e esbranquiçada, com preenchimento passivo semelhante a matriz, e em seção transversal possui diâmetro médio de 2 mm (Figura 6A). Associado ocorrem estruturas cilíndricas simples, verticalizadas ou horizontalizadas com preenchimento passivo e paredes definidas, sem ramificações reconhecidos como *Skolithos* e *Palaeophycus*, respectivamente (Figura 6B). Raramente ocorrem estruturas horizontalizadas com *spreiten*, atribuídas a *Phycosiphon* e *Rhizocorallium*. No geral a icnofábrica

apresenta um grau de bioturbação baixo a moderado (GB 1-3), e está registrada em fácies de folhelho (Fl)

6.2.2 Icnofábrica *Glossifungites*

É caracterizada por estruturas identificadas como *Diplocrateiron*, com orientações verticalizadas e subverticalizadas, sem ramificações, onde as paredes são levemente irregulares, havendo o preenchimento passivo com material distinto da matriz. Sua morfologia tem formato de ‘‘U’’ apresentando *spreiten*. As estruturas apresentam profundidade de até 37 cm (Figura 6I). O grau de bioturbação é 2 (Figura 7), sendo registrada em fácies de folhelho (Fl) junto com a icnofábrica *Schaubcylindrichnus*.

6.2.3 Icnofábrica *Phycosiphon*

Estruturas horizontalizadas de seção cilíndrica, com preenchimento ativo compactado. Algumas estruturas apresentam *spreiten* visível, de forma curva, variando a espessura da escavação ao longo do intervalo (Figura 6C). De forma menos frequente ocorre ainda *Asterosoma*, com seção transversal circular e paredes lisas, preenchimento ativo e concêntrico (Figura 6F), *Lingulichnus* caracterizado por estruturas em ‘J’ com um tubo central visível, e *Thalassinoides*, identificado por estruturas verticalizadas ou horizontalizadas com paredes lisas e preenchimento passivo, de maior diâmetro e que aparenta possuir ramificações. O grau de bioturbação varia de 1 a 2, contida em uma associação de fácies de arenito maciço (Sm), folhelho (Fl) e arenito com acamamento *flaser* (Fls)

6.2.4 Icnofábrica *Teichichnus*

É caracterizadas por escavações horizontalizadas com *spreiten* evidente e paredes lisas; por vezes o *spreiten* ocorre de forma protusiva ou retrusiva. Outras estruturas horizontais que compõem esta icnofábrica apresentam paredes lisas com preenchimento ativo ou passivo, atribuídas respectivamente à *Planolites* e *Palaeophycus*. Também ocorre de maneira subordinada *Asterosoma*, *Thalassinoides*, *Phycosiphon* e *Schaubcylindrichnus*, previamente caracterizados nas icnofábricas anteriores. O grau de bioturbação variando de 3-5, registrada em na variação de fácies entre heterolitos e arenito maciço (Sm)

Figura 6. A. *Schaubcylindrichnus*. Em icnofábrica, é observado sua estrutura apenas como uma seção do tubo, onde o restante do mesmo encontra-se no eixo Z (Sc= *Schaubcylindrichnus*). B. *Palaeophycus*. Na seção basal do testemunho é possível observar a morfologia da escavação e seu comprimento, detalhe para os *Palaeophycus*, que são reconhecidos em cortes transversais no testemunho (Pa= *Palaeophycus*). C. *Phycosiphon*. Note a seta indicando a estrutura na lente de areia (Ph= *Phycosiphon*). D. *Rhizocorallium*. Com *spreiten* na horizontal partindo da abertura,

indicado pela seta preta (Rh= *Rhizocorallium*). E. *Teichichnus*. Estrutura contendo mais de 2 cm de comprimento, verificando o *spreiten* protusivo acima a primeira escavação (Te = *Teichnus*). F. *Asterosoma*. Com formato circular da escavação em icnofábrica, não é permitido verificar as ramificações no eixo Z da rocha (As= *Asterosoma*). G. *Planolites*. Repare no contorno da estrutura em vermelho o padrão da escavação subverticalizada (Pa= *Planolites*). H. *Lingulichnus*. Na parede do poço é possível identificar parte da estrutura (Li= *Lingulichnus*). I. *Diplocraterion*. É permitido observar o preenchimento da escavação diferindo da matriz com uma capa de oxidação ao redor (Di= *Diplocraterion*)

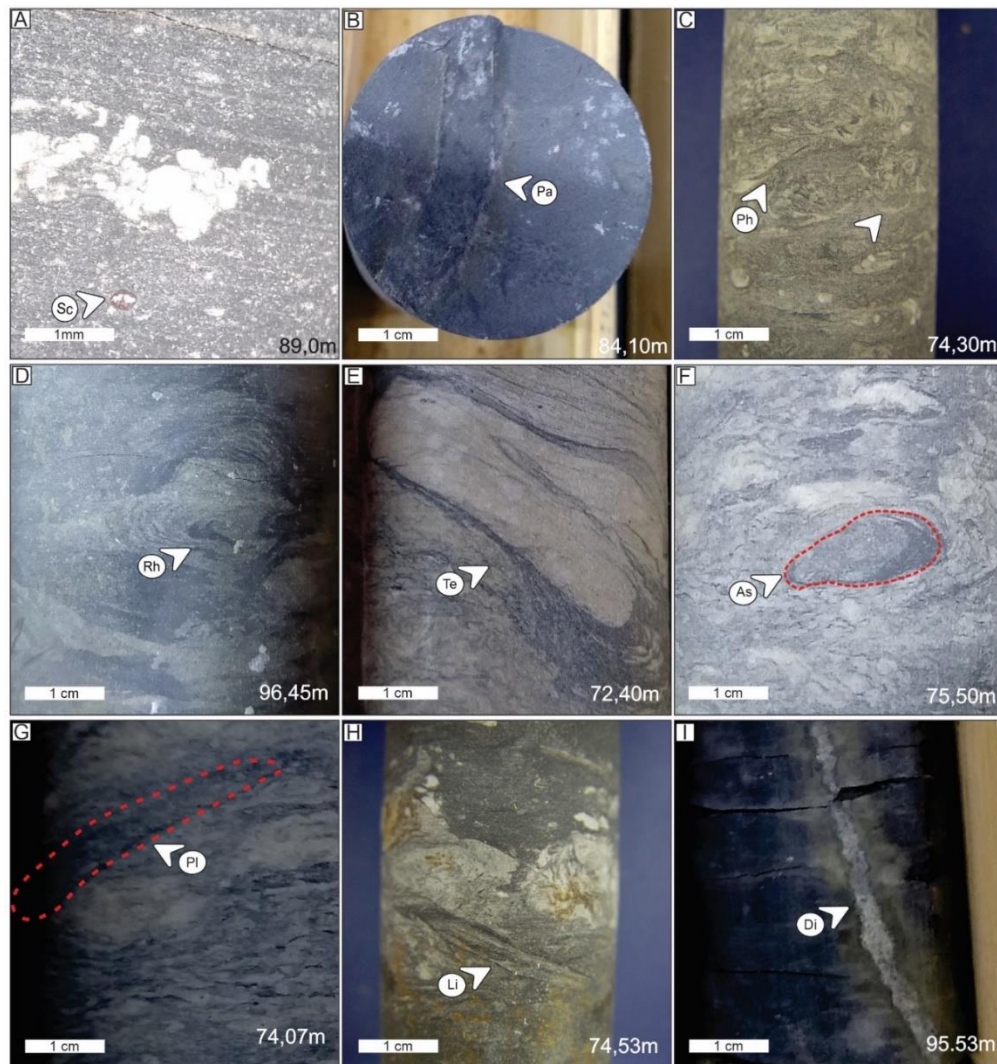


Figura 7: Seção estratigráfica representando a sucessão vertical de fácies encontradas na área de estudo, e o nível de ocorrência das estruturas biogênicas

Perfil estratigráfico do poço
2-GG-1-PR

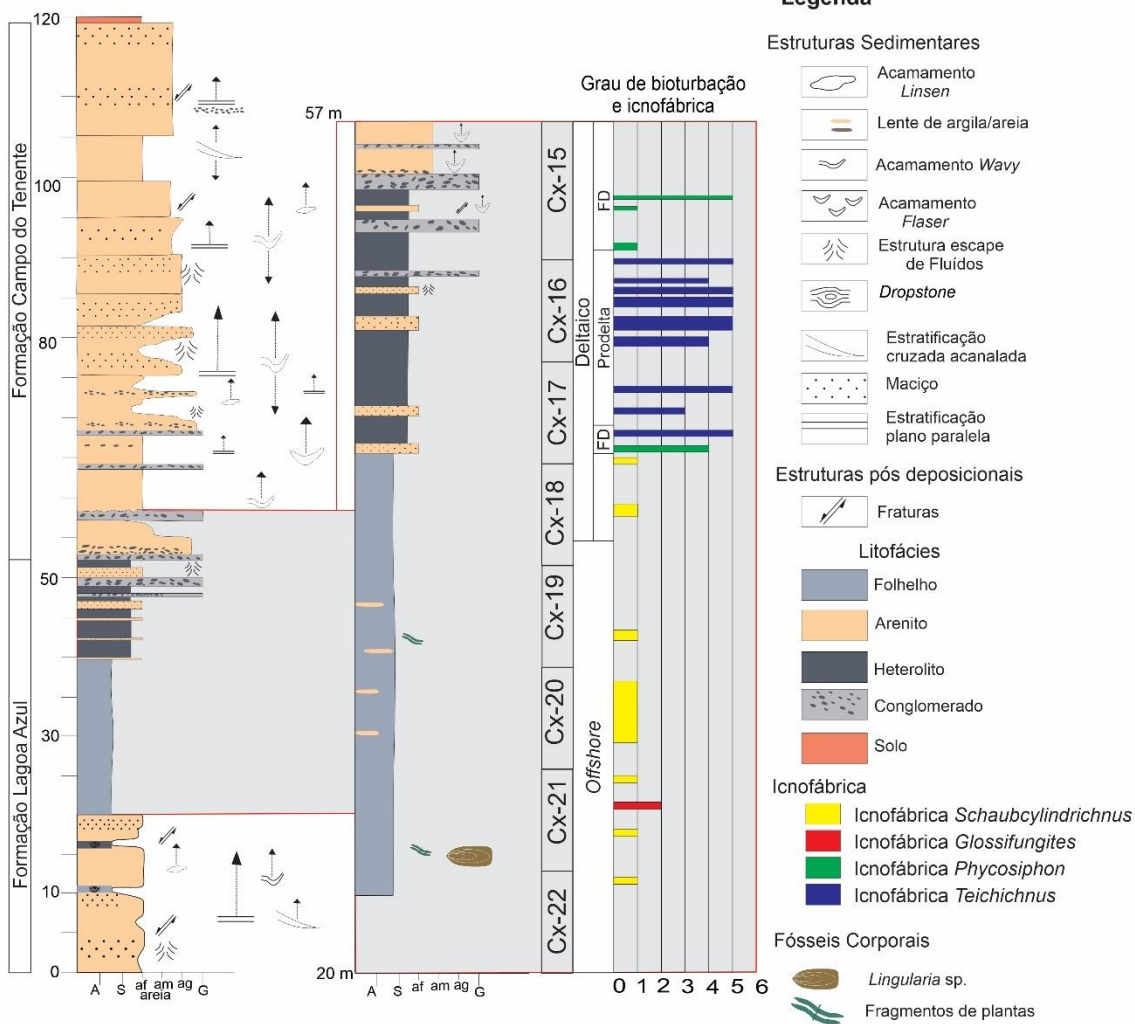
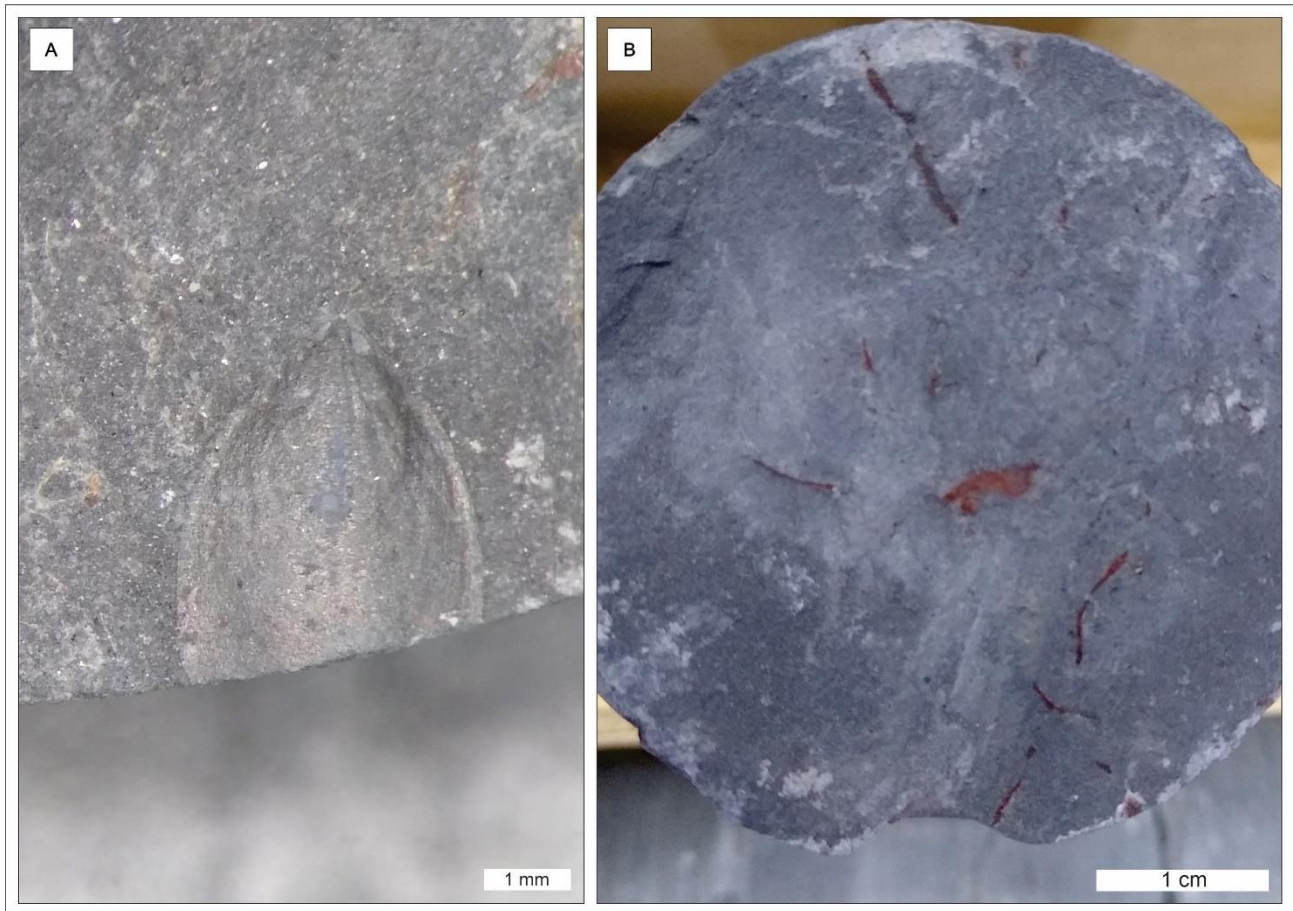


Figura 8: Fósseis corporais. A. Molde externo de uma lingula preservada em fácies folhelho. B. Fragmento de plantas em fácies folhelho, ambos os fósseis ocorrem associados.



7 DISCUSSÃO

O intervalo basal da Formação Lagoa Azul (0-15 m no testemunho) composto pela associação de fácies A, apresenta grau de bioturbação 0, sendo interpretado como uma alternância de depósitos formados em regime de fluxo superior (Sh) (ALLEN, 1982; VESELY; ASSINE, 2006), regime de fluxo inferior (St) e fluxos de alta densidade (Sm) (MULDER; ALEXANDER, 2001). Variações entre fluxos trativos e fluxos friccionados é comumente observada em ambientes proglaciais do tipo delta (RUST, 1977; CHEEL; RUST, 1986; MIALL, 1996), visto que tendem a fluir sobre superfícies mais aplainadas (MULDER; ALEXANDER, 2001). A variação entre as fácies Sh e St indicam flutuações de descarga; característica essa também geralmente associada a planícies de *outwash* (AQUINO et al., 2016). A presença de seixos pingados associados às referidas fácies é indicativa de deposição em ambiente subaquoso e com influência glacial (GILBERT, 1990).

A presença de *dropstones* imersos nos folhelho e acamamento heterolítico no intervalo entre 15 e 20 m do testemunho, (Figura 7) também é indicativa de icebergues adjacentes aos fluxos de *outwash* (GILBERT, 1990; VESELY; ASSINE, 2006; BUSO et al., 2019). Deformações das camadas de folhelho, sotopostas ao seixo, são evidências de que os *dropstones* atingiram sedimentos inconsolidados. Outros, com formato arredondado e sem aspectos de deformação na matriz, indicam

que os mesmos passaram pelo processo de retrabalhamento (AQUINO et al., 2016), indicando de que sofreram algum transporte, principalmente por água

Devido à alta energia do fluxo, esses clastos podem ser facilmente retrabalhados pelas águas de gelo após serem depositados no substrato (AQUINO et al., 2016). A presença de estruturas de fluidificação e fraturas também mostram a relação dos sedimentos inconsolidados com a carga litostático das camadas sobrepostas (DAVENPORT et al., 1989; RAWLING; GOODWIN, 2003). Essas fraturas compressivas são interpretadas como feições derivada de pesos glacio eustáticos, originado pela sobreposição de camadas depositadas posteriormente (Figura 5D). A heterolitos com laminações do tipo *flaser* e *linsen* em direção ao topo são sugestivas de variações na energia do fluxo na região da frente deltaica (MARTIM, 2000; LIAO, et al., 2020).

O intervalo foco deste estudo corresponde ao topo da Formação Lagoa Azul (15 a 52 m), composto pela associação de fácies B, essencialmente formado por folhelhos e siltitos intercalados por níveis de arenito fino. O folhelho é portador de fragmentos de plantas e *Lingularia imbituensis*. (identificação de Elvio P. Bosetti, com. pes.) (Figura 8 e Tabela 1). A icnofábrica *Schaubcylindrichnus* possui uma mistura de estruturas horizontalizadas e verticalizadas, de depositívoros (*Phycosiphon*) e suspensívoros (*Skolithos*), além de estruturas de moradia (*Palaeophycus* e *Schaubcylindrichnus*). Esta alternância de planos morfológicos sugere condições proximais em contexto marinho, corroborado pela presença de *Lingullaria* sp. A baixa densidade e icnodiversidade, em associação à icnogêneros bem distribuídos nos subambientes marinhos, além do predomínio de folhelhos sugere condições estuarinas ou uma plataforma de baixa energia (HERBER et al., 2016; WALKER, 1992).

Localmente ocorre a icnofábrica *Glossifungites*, com expressiva ocorrência de *Diplocraterion* preservado em *firmground*. A presença das estruturas verticalizadas na fácies de folhelho, com paredes irregulares, refletem a coesão do substrato no momento da colonização (Figura 6I). A orientação vertical reflete a colonização por organismos suspensívoros ou predadores passivos que constroem domicílios abertos, que são posteriormente preenchidos passivamente (BUATOIS; MÁNGANO, 2011). As superfícies para *Glossifungites* podem ser agrupadas em dois tipos principais: As de origem autogênica e alogênica. Superfícies autogênicas registram omissões de curta duração associadas a mudanças dinâmicas no ambiente sedimentar e não correspondem a superfícies estratigráficas (ABDEL-FATTAH et al., 2016). Superfícies geradas alogenicamente formam descontinuidades estratigráficas chave e são atribuídas a superfícies demarcadas por icnofácies de *Glossifungites* ligadas à sequência, delimitadores de trato de sistemas superfícies demarcadas por icnofácies, e delimitação de parassequência (ABDEL-FATTAH et al., 2016). A colonização desses *firmground* indica uma superfície de omissão, aqui interpretada como autogênica devido à ausência de dados de subsuperfície para correlação. Além disso, o intervalo é sobreposto por 20 m fácies pelíticas, sugerindo para esse

intervalo uma superfície erosiva, onde há a remoção dos níveis superficiais e a colonização dos níveis profundos, não havendo evidências de uma regressão forçada para que o nível de base diminua expondo assim essa superfície (ABDEL-FATTAH et al., 2016).

Potencialmente, *Glossifungites* podem representar colonização de substratos subaquosos mas que ficaram momentaneamente expostos, indicando um hiato deposicional em contexto marginal estuariano (BUATOIS; MÁNGANO, 2011), também representam períodos de não deposição ou erosão (BUATOIS; MÁNGANO, 2011). Um contraponto à interpretação autogênica é a profundidade da escavação (37 cm), que combina com expressões alogênicas de *Glossifungites* (MASON; CHRISTIE 1986; DAM 1990; TAYLOR; GAWTHORPE 1993; GOLDRING et al., 1998; RODRÍGUEZ-TOVAR; PÉREZ- VALERA; PÉREZ-LÓPEZ, 2007). Mais dados são necessários para se compreender a natureza desta ocorrência no contexto estratigráfico regional. Essas icnofácies descritas no mesmo intervalo que fósseis de língula (*Lingularia*), cujos aspectos preservacionais encontram-se em perfeito estado, é indicativo de ambiente marinho (CRAIG, 1958). O reconhecimento da face interna das valvas (SIMÕES et al., 2012) e de músculos marcados por linhas de minerais, assinala ausência de processos tafonômicos destrutivos, fornecendo indícios de que o organismo foi soterrado muito próximo de seu local de vida (BEAUCHAMP, 1960). Os fragmentos de plantas no intervalo dos folhelhos sugere que foram transportados por fluxos de baixa energia, como uma pluma boiante, que carrega frammento de plantas para a bacia (BAYET; CARVALHO, 2016; BUATOIS et al., 2019; MACEACHERN; BANN, 2020; ZAVALA, 2020).

A presença da camada espessa de folhelhos, sobre depósitos deltáicos na base apontam para um momento de retrogradação, onde os depósitos distais evidenciados pela icnofábrica *Schaubcylindrichnus*, *Glossifungites* e pela língula são depositados sobre a porção basal proximal. As icnofácies *Schaubcylindrichnus* e *Glossifungites*, indicam contexto marginal estuarino, com baixo grau de bioturbação, sendo as suítes icnológicas empobrecidas com baixa diversidade e baixa abundância representando uma expressão muito restrita da icnofácies mista Skolithos-Cruziana que é característica de ambientes costeiros de deposição, sendo sujeitadas a salinidades altamente variáveis e geralmente reduzidas (BANN et al., 2004). No geral, a icnodiversidade e o grau de bioturbação em contexto de estuário são muito menores do que em depósitos *offshore*, tendo predomínio de estruturas simples como característica de estuários e baías de água salobra, em vez de ambientes prodeltáicos, (e.g , MACEACHERN et al., 2005; BANN et al., 2008; Buatois et al., 2008, 2012), entretanto, podem ocorrer estruturas elaboradas como *Phycosiphon*, sendo relativamente abundantes, ao passo que, depósitos de folhelho em *offshore* normalmente são intensamente bioturbados (Gb 4 a 6) e contêm uma grande variedade de icnogêneros (BUATOIS et al., 2019).

O intervalo sobreposto aos folhelhos apresenta alternância das icnofábricas *Phycosiphon* de

forma pontual, e *Teichichnus*, representando as icnofácies *Phycosiphon* e *Cruziana*. A icnofácies *Phycosiphon* é caracterizada por estruturas horizontalizadas cilíndricas, formada por icnogêneros totalmente marinhos e com baixa diversidade, neste caso, *Palaeophycus*, *Rhizocorallium*, *Schaubcylindrichnus*, *Thalassinoides*, além de *Planolites* e *Phycosiphon* (MACEACHERN; BANN, 2020). A icnofácies registra o impacto dos processos relacionados à variabilidade de condições paleoecológicas do meio, como as taxas de sedimentação e a influência de aporte de água doce deltaica sobre a comunidade bentônica marinha, alterando a salinidade da água. A diluição da salinidade tem sido observada como um importante fator de estresse em sistemas marinhos marginais (PEMBERTON et al., 1982; MACEACHERN; PEMBERTON, 1994; BUATOIS et al., 1997, 2005; MANGANO; BUATOIS, 2004; MACEACHERN; GINGRAS, 2007; GINGRAS; MURRAY; MACEACHERN, 2012). Essas variações causam mudanças principalmente na alimentação de organismos depositívoros móveis e sésseis, bem como na fauna de pastagem de superfície ocupando ambientes distais de baixa energia (MACEACHERN; BANN, 2020). Os organismos da infauna e da epifauna estão sujeitos a aumentos periódicos, mas recorrentes, nas taxas de energia e sedimentação (MACEACHERN; BANN, 2020), produzindo suítes de traços fósseis de baixa diversidade, com icnogêneros irrestritos, como *Planolites* e *Teichichnus* (MACEACHERN; BANN, 2020), explicando a ocorrência de *Teichichnus* em icnofácies *Phycosiphon*.

Períodos de descarga rápida de água doce, são propícios à geração de fluxos hiperpicnais (MULDER; SYVITSKI, 1995; MACEACHERN et al., 2005; FELIX; PEAKALL; MCCAFREY, 2006), em águas marinhas/salinas permanecem preso ao fundo (ZAVALA, 2020), sendo representado, pela deposição entre as camadas de arenitos e heterolitos no intervalo, com algumas camadas de conglomerados, indicando a migração de uma frende deltaica, para um prodelta associado a icnofácies *Cruziana*. Os hiperpicnitos podem ser representados por padrão de alteração entre as fácies, sugerindo mudanças nas condições físico-químicas de água e levando a um maior empobrecimento da icnodiversidade (GINGRAS; MURRAY; MACEACHERNS, 2011). Uma vez que o excesso de densidade em fluxos hiperpicnais lamacentos é fornecido por sedimentos silte-argilosos em suspensão representado pelos heterolitos. Essa variação nos parâmetros paleoecológicos, com a entrada de fluxos de água doce no ambiente marinho produz um estresse físico-químico na biota (MACEACHERN; BANN, 2020). Sendo assim, a icnofácies *Phycosiphon* pode ser produzida como resultado das mudanças do meio, e refletidos pelo comportamento da biota. A presença do icnogênero *Asterosoma*, na icnofácies *Phycosiphon*, assinala alterações pontuais nas condições físico-químicas do meio, ocorrendo frequentemente em frentes deltaicas (MACEACHERN et al. 2005; KNAUST, 2017). Alguns produtores de *Asterosoma* podem ocorrer em condições salobras (GREB; CHESNUT, 1994; HUBBARD; GRINGAS; PEMBERTON, 2004; MACEACHERN; GINGRAS 2007; BRADSHAW,

2010; LESZCZYŃSKI 2010; GINGRAS; MURRAY; MACEACHERN, 2012 JOECKEL; KORUS, 2012; PEARSON et al., 2013). O intervalo com a icnofábrica *Phycosiphon* é composto por fácies arenosas e heterolíticas de forma pontual, e com alto índice de bioturbação. A intercalação entre Fls e Sm, e localmente conglomerados com heterolitos, indicam uma mistura de deposição por tração e decantação, são comuns em contexto deltaico, onde a icnofácies *Phycosiphon* é mais comum em contexto de frente deltaica, refletindo condições de sedimentação constantes e moderado estresse físico-químico por conta da mudança de salinidade.

Na seção em estudo, em associação com a icnofácies *Phycosiphon* pode-se reconhecer a icnofábrica *Teichichnus*, representativa da icnofácies *Cruziana*. Esta icnofábrica é caracterizada por maior icnodiversidade e densidade, sugerindo condições de estabilidade nos parâmetros paleoecológicos em ambiente marinho (BUATOIS; MÁNGANO, 2011). No contexto de prodelta, a icnofácies *Cruziana* pode estar ligada com as condições paleoecológicas do meio em relação a influência fluvial ou de ondas, como influxo variável de sedimentos fluviais para o ambiente marinho, variando os icnogêneros conforme a variabilidade de água salgada no sistema, bem como tamanho do grão do sedimento, consistência do substrato e taxas de sedimentação (MACEACHERN; BANN, 2020). A maioria dos comportamentos dos organismos nessa icnofácies estão relacionados com recursos alimentares que são depositados no sedimento ou no substrato, registrando sedimentação lenta e contínua em ambientes totalmente marinhos que são caracterizados por longos períodos de estabilidade ambiental (MACEACHERN; BANN, 2020). A grande quantidade de *Teichichnus* em fácies Lns, elemento característico de depósitos de *shoreface* inferior a *offshore* (plataforma) (PEMBERTON et al., 2012), indica um contexto marinho, prevalecendo condições de baixa a moderada energia, sendo seus produtores capazes de suportar oscilações pontuais na salinidade (KNAUST, 2017). Entretanto, a icnofácies *Cruziana* aponta para um ambiente mais distal da plataforma, podendo entender essa grande quantidade de *Teichichnus* como um momento onde a presença dos fluxos continentais estavam mais presentes, uma vez que esses intervalos representam uma fase progradacional, com os depósitos continentais avançando em direção a bacia, assim, aumentando a influência fluvial na plataforma.

Portanto, as fácies e icnofósseis deste intervalo permitem identificar contexto de prodelta. A diminuição das fácies lamacentas e um aumento na espessura e abundância de arenito com acamamentos *flaser* e *wavy* sugerem uma posição mais proximal para o prodelta. (BAYET; CARVALHO, 2016). A associação de fácies Lns, Sm e Gmn indicam granocrescência ascendente, típicos de sistema deltaico, e os heterolitos com camadas lenticulares e arenitos com acamamento *flaser* indicam retrabalhamento por correntes e pequenas mudanças no tamanho do grão do sedimento proveniente dos fluxos fluviais (eg WILLIS et al., 1999; WILLIS 2005; LEGLER et al.,

2013). O contraste entre as duas icnofácies, *Phycosiphon* e *Cruziana* representando frente delática e prodelta é causado pelas condições paleoecológicas principalmente influenciadas pela água doce no sistema. A medida que a influência fluvial aumenta, as condições marinhas vão se perdendo e favorecem a ocorrência da icnofácies *Phycosiphon*, enquanto as ocorrências da icnofácies *Cruziana* apontam predomínio de condições marinhas. O fato de que as duas icnofácies se alternam demonstra que estão geneticamente relacionadas, registrando as mudanças que ocorrem dentro do mesmo sistema deposicional deltaico (MACEACHERN; BANN, 2020). Os níveis mais bitubados (Figura 7) registram intervalos de deposição mais lenta e salinidades totalmente marinhas que correspondem a períodos durante os quais o influxo de sedimentos do rio foram muito reduzidos contrastam marcadamente com os intervalos que se acumularam sob condições físico-químicas induzidas pelo rio (e.g., BANN et al., 2004; MACEACHERN; GINGRAS 2007; MACEACHERN et al. 2007; MACEACHERN; BANN 2008).

Sobreposto às fácies com icnofácies *Cruziana*, houve deposição de conglomerados intercalados por arenito maciço e heterolitos, associação comum nas porções de deglaciação de frente deltaica, sugerindo um período interglacial (VESELY; ASSINE, 2006; BAYET; CARVALHO, 2016). O aumento do acamamento *wavy*, com arenito maciço intercalando as fácies Sh apontam um sistema delta, com regime de condições de baixa energia alternados a alta energia em bancos de areia no inframaré (BAYET; CARVALHO, 2016). Para o topo, registra a associação de fácies A, com fácies St (Tabela 1, Figura 7) geradas por correntes de tração e representam fluxo inferior sobre regime dunas subaquáticas (MCDONALD; VINCENT, 1972) correspondente com depósitos de frente deltaica. Essa sucessão de fácies de arenito são correspondentes ao arenito Vila Velha, interpretado como ambiente de alta energia dominado por correntes tracionais, provavelmente ambiente costeiros, fluvio-glacial onde a sedimentação iniciou com a queda do nível do mar e incisão dos canais (FRANÇA; WINTER; ASSINE, 1996; VESELY et al., 2021).

Os sistemas deposicionais relacionados ao *Late Paleozoic Ice Age* (LPIA), foram estressantes para a fauna marinha, principalmente em função do degelo, que alteraram as condições paleoecológicas (SHIN et al., 2021). Por muito tempo os autores pensaram que os eventos ocorridos teriam alterado os parâmetros ecológicos, extinguindo assim a fauna marinha, em especial os braquiópodes (WANG et al., 2006; POWELL, 2005; MCGHEE et al., 2012 SHIN et al., 2021). Entretanto, durante o período de glaciação houve um aumento na diversificação e evolução da fauna marinha, principalmente no clado dos foraminíferos (GROVES; LEE, 2008; GROVES; WANG, 2009), havendo um aumento de espécies e gêneros da fauna marinha no final do Carbonífero (FAN et al., 2020). Porém, na Bacia do Paraná o registro paleontológico do Grupo Itararé é raro, exceto no intervalo denominado Folhelho Lontras. As justificativas apontam para as condições paleoecológicas e tafonômicas, o *input* sedimentar derivado

do degelo em momentos de retrogradação favorecia apenas organismos oportunistas, ao passo que as condições não eram estáveis o suficiente para estabilidade ecológica. Ainda assim, a presença de *Lingullaria* na base do Grupo Itararé aponta para potenciais refúgios faunísticos nas primeiras fases de degelo.

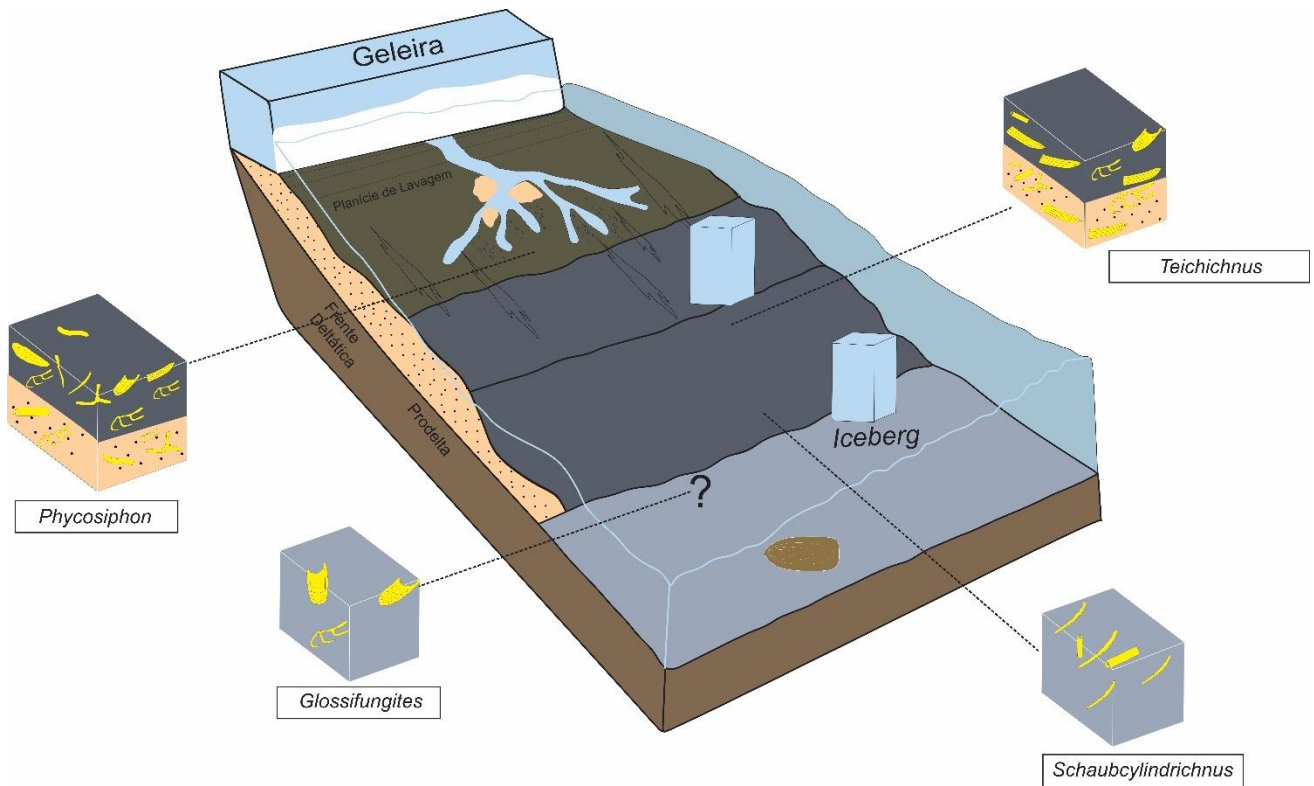
7.1 Implicações Paleoambientais

A seção estudada mostra um padrão de fácies proximais na base, com arenitos diversificando suas estruturas primárias, associadas com icebergues adjacentes indicado pelos *dropstones*. Esses são depósitos característicos de fluxo de detritos em ambientes proglaciais, com o índice de bioturbação 0, havendo uma variação da energia para o topo evidenciado pelos acamamentos *flaser* e *linsen*. Essas quantidades de sedimentos proximais mostram uma possível melhora climática, onde a água de degelo aumenta o *input* sedimentar na bacia, característicos de ambientes proglaciais.

O pacote sobreposto aos arenitos indica fases de pouco fluxo sedimentar, havendo apenas a decantação de sedimento fino, com baixo índice de bioturbação. A presença da língula com bom estado preservacional indica baixo tempo de residência, ou seja, preservação autóctone ou parautóctone, indicando contexto estritamente marinho. Além disso, estruturas biogênicas sugerem contexto estuarino. A icnofácies *Glossifungites* em depósito de folhelhos, sobre fácies proximais, podem indicar uma superfície de omissão, controlada por alterações no nível relativo do mar causadas pela deglaciação. Na fase regressiva se propicia a formação de *firmgrounds*, entretanto, também podem indicar apenas um hiato deposicional não sendo necessariamente um marcador estratigráfico, já que não há superfícies erosivas evidenciadas.

Acima dos folhelhos, há novamente a deposição de fácies proximais sobre distais, entendida como uma melhora climática. Os depósitos característicos de uma frente deltaica progradam para um prodelta contendo heterolitos e arenitos maciço na base, com a icnofácies *Phycosiphon* que representa regiões proximais, evidenciando aporte sedimentar fluvial, e fácies deposicionais mais distais representada por fácies de prodelta e a icnofácies *Cruziana*, de regiões distais. O intervalo superior do testemunho possui uma sequência de arenitos com variações nas formas de leito indicando um ambiente de alta energia, como ambiente fluvial do Vila Velha.

Figura 9: Paleoambiente deposicional esquemático com as icnofábricas posicionadas



8. CONCLUSÕES

A análise icnológica e sedimentológica integrada permitiu o reconhecimento de três intervalos, correspondentes aos ambientes deposicionais frente deltaica, prodelta e estuário. As assinaturas icnológicas e sedimentológicas apontam para condições retrogradacionais no intervalo estudado, embora ciclos progradacionais ocorram em menor magnitude. A icnofácies *Glossifungites* ainda precisa de dados adicionais para se atestar sua natureza, mas aqui se adota a interpretação mais conservadora de que indica contexto autogênico associado à fácies estuarinas. A icnofácies *Phycosiphon* ocorre de forma pontual com assinaturas de frente deltaica em ambientes mais proximais, influenciado por fluxos continentais e a icnofácies *Cruziana* apontam para prodelta em fácies relativamente distais. Os dados aqui reportados ampliam a icnodiversidade do Grupo Itararé e indicam colonização pela infauna em contexto marinho nos intervalos mais basais da unidade.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-FATTAH, Z. A.; GINGRAS, M. K.; CALDWELL, M. W., PEMBERTON, S. G.; MACEACHERN, J. A. The *Glossifungites* ichnofacies and sequence stratigraphic analysis: a case study from middle to upper Eocene successions in fayum, Egypt. *Ichnos*, 23(3-4), 157-179, 2016. Allen John. **Sedimentary structures, their character and physical basis Volume 1**. Elsevier, 1982.

- ALMEIDA, FFM de. A "roche moutonnée" de Salto, Estado de São Paulo. **Boletim Geologia e Metalurgia**, v. 5, p. 112-118, 1948.
- AQUINO, C. D.; BUSO, V. V.; FACCINI, U. F.; MILANA, J. P.; PAIM, P. S. G. Facies and depositional architecture according to a jet efflux model of a late Paleozoic tidewater grounding-line system from the Itararé Group (Paraná Basin), southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 67, 180-200, 2016
- ASSINE, Mario Luis. **Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil**. 1996. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BANN, K. L.; FIELDING, C. R.; MACEACHERN, J. A.; TYE, S. C. Differentiation of estuarine and offshore marine deposits using integrated ichnology and sedimentology: Permian Pebble Beach Formation, Sydney Basin, Australia. *Geological Society, London, Special Publications*, 228(1), 179-211.
- BANN, Kerrie L. et al. Ichnological and sedimentologic signatures of mixed wave-and storm-dominated deltaic deposits: Examples from the Early Permian Sydney Basin, Australia. 2008.
- BALISTIERI, P. R. M. N.; NETTO, R. G. A Glossifungites suite in deposits of the Itararé Group (Upper Carboniferous–Lower Permian of Paraná Basin) at Mafra region, north of Santa Catarina State, Brazil: ichnotaxonomy, and paleoecological and stratigraphical constraints. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 55, p. 91-106, 2004
- BALISTIERI, P. R. M. N.; NETTO, R. G.; LAVINA, E. L. C. Ichnofauna from the Upper Carboniferous-Lower Permian rhythmites from Mafra, Santa Catarina State, Brazil: ichnotaxonomy. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 4, p. 13-26, 2002.
- BALISTIERI, P. R. M. N.; NETTO, R. G.; LAVINA, E. L. C. Ichnofauna de ritmitos do topo da Formação Mafra (Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná) em Rio Negro, Estado do Paraná (PR), Brasil. **Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina**, v. 9, n. 1, 2003.
- BAYET-GOLL, Aram; NETO DE CARVALHO, Carlos. Ichnology and sedimentology of a tide-influenced delta in the Ordovician from the northeastern Alborz range of Iran (Kopet Dag region). **Lethaia**, v. 49, n. 3, p. 327-350, 2016.
- BEAUCHAMP, P. de. Classe des brachiopodes, formes actuelles. 1380–1430. **Traité de**, 1960.
- BEYNON, Bruce M.; PEMBERTON, S. George. Ichnological signature of a brackish water deposit: an example from the Lower Cretaceous Grand Rapids Formation, Cold Lake oil sands area, Alberta. 1992.
- BOEDO, Florencia Lucila et al. High-pressure/low-temperature metamorphism in the collision zone between the Chilenia and Cuyania microcontinents (western Precordillera, Argentina). **Journal**

of **South American Earth Sciences**, v. 72, p. 227-240, 2016.

- BRADSHAW, Margaret A. Devonian trace fossils of the Horlick Formation, Ohio Range, Antarctica: systematic description and palaeoenvironmental interpretation. **Ichnos**, v. 17, n. 2, p. 58-114, 2010.
- BROMLEY, Richard G. The palaeoecology of bioerosion. **The palaeobiology of trace fossils**, p. 134-154, 1994.
- BROMLEY, Richard. G. *Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications*. **Chapman and Hall, London**, 361 p. 1996
- BUATOIS, Luis A.; MANGANO, M. Gabriela; MAPLES, Christopher G. The paradox of nonmarine ichnofaunas in tidal rhythmites; integrating sedimentologic and ichnologic data from the Late Cretaceous of eastern Kansas, USA. **Palaios**, v. 12, n. 5, p. 467-481, 1997.
- BUATOIS, Luis A. et al. Colonization of brackish-water systems through time: evidence from the trace-fossil record. **Palaios**, v. 20, n. 4, p. 321-347, 2005.
- BUATOIS, Luis A. et al. Extreme freshwater release during the late Paleozoic Gondwana deglaciation and its impact on coastal ecosystems. **Geology**, v. 34, n. 12, p. 1021-1024, 2006.
- BUATOIS, Luis A. et al. Animal–substrate interactions in an early Miocene wave-dominated tropical delta: delineating environmental stresses and depositional dynamics (Tacata Field, eastern Venezuela). **Journal of Sedimentary Research**, v. 78, n. 7, p. 458-479, 2008.
- BUATOIS, Luis A. et al. Ichnology of late Paleozoic postglacial transgressive deposits in Gondwana: Reconstructing salinity conditions in coastal ecosystems affected by strong meltwater discharge. **late Paleozoic glacial events and postglacial transgressions in Gondwana**, v. 468, p. 149-173, 2010.
- BUATOIS, Luis A. et al. Sedimentological and ichnological signatures of changes in wave, river and tidal influence along a Neogene tropical deltaic shoreline. **Sedimentology**, v. 59, n. 5, p. 1568-1612, 2012.
- BUATOIS, Luis A.; MÁNGANO, Maria G.; PATTISON, Simon AJ. Ichnology of prodeltaic hyperpycnite–turbidite channel complexes and lobes from the Upper Cretaceous Prairie Canyon Member of the Mancos Shale, Book Cliffs, Utah, USA. **Sedimentology**, v. 66, n. 5, p. 1825-1860, 2019.
- BUATOIS, Luis A.; MÁNGANO, M. Gabriela. **Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time**. Cambridge University Press. 2011.
- BUSCOMBE, Daniel; MASSELINK, Gerhard. Concepts in gravel beach dynamics. **Earth-Science Reviews**, v. 79, n. 1-2, p. 33-52, 2006.
- CAGLIARI, Joice et al. Age constraints of the glaciation in the Paraná Basin: evidence from new U–

- Pb dates. **Journal of the Geological Society**, v. 173, n. 6, p. 871-874, 2016.
- CANUTO, José Roberto; DOS SANTOS, Paulo Roberto; ROCHA-CAMPOS, ANTONIO CARLOS. Estratigrafia De Sequências do subgrupo ITARARÉ (Neopaleozóico). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 107-116, 2001.
- CARVALHO, Amanda H.; VESELY, Fernando F. Facies relationships recorded in a Late Paleozoic fluvio-deltaic system (Paraná Basin, Brazil): Insights into the timing and triggers of subaqueous sediment gravity flows. **Sedimentary Geology**, v. 352, p. 45-62, 2017.
- CHEEL, R. J.; RUST, B. R. A sequence of soft-sediment deformation (dewatering) structures in Late Quaternary subaqueous outwash near Ottawa, Canada. **Sedimentary Geology**, v. 47, n. 1-2, p. 77-93, 1986
- COLLINS, Daniel S. et al. Coupled 'storm-flood' depositional model: Application to the Miocene–Modern Baram Delta Province, north-west Borneo. **Sedimentology**, v. 64, n. 5, p. 1203-1235, 2017.
- COLLINS, Daniel S.; JOHNSON, Howard D.; BALDWIN, Christopher T. Architecture and preservation in the fluvial to marine transition zone of a mixed-process humid-tropical delta: Middle Miocene Lambir Formation, Baram Delta Province, north-west Borneo. **Sedimentology**, v. 67, n. 1, p. 1-46, 2020.
- CRAIG, Gordon Y. A comparative study of the ecology and palaeoecology of *Lingula*. **Transactions of the Edinburgh Geological Society**, v. 15, n. 1, p. 110-120, 1958.
- DAM, Gregers. Taxonomy of trace fossils from the shallow marine Lower Jurassic Neill Klint Formation, east Greenland. **Bulletin of the Geological Society of Denmark**, v. 38, n. 1-2, p. 119-144, 1990.
- DASGUPTA, Sudipta; BUATOIS, Luis A.; MÁNGANO, M. Gabriela. Living on the edge: evaluating the impact of stress factors on animal–sediment interactions in subenvironments of a shelf-margin delta, the Mayaro Formation, Trinidad. **Journal of Sedimentary Research**, v. 86, n. 9, p. 1034-1066, 2016.
- DAVENPORT, Colin A. et al. Geological investigations of late and post glacial earthquake activity in Scotland. In: **Earthquakes at North-Atlantic passive margins: neotectonics and postglacial rebound**. Springer, Dordrecht, 1989. p. 175-194.
- D'ÁVILA, Roberto Salvador Francisco. Sequências deposicionais do Grupo Itararé (Carbonífero e Eopermiano), Bacia do Paraná, na área de Dr. Pedrinho e cercanias, Santa Catarina, Brasil: turbiditos, pelitos e depósitos caóticos. 2009.
- DECELLES, Peter G.; GILES, Katherine A. Foreland basin systems. **Basin research**, v. 8, n. 2, p. 105-123, 1996.

- DE CASTRO, Joel Carneiro. Estratigrafia de seqüências das formações Campo Mourão (parte superior) e Taciba, Grupo Itararé, leste da Bacia do Paraná. **Brazilian Journal of Geology**, v. 29, n. 2, p. 255-260, 1999.
- DE CASTRO, Joel Carneiro; WEINSCHÜTZ, Luiz Carlos; DE CASTRO, Marília Rodrigues. Estratigrafia de seqüências das formações Taciba e Rio Bonito (Membro Triunfo) na região de Mafra/SC, leste da Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, p. 27-42, 2004.
- DOWDESWELL, Julian A. Fjords: Processes and products. JPM SYVITSKI, DC BURRELL and JM SKEI Publisher Springer-Verlag, **Journal of Quaternary Science**, v. 4, n. 3, p. 277-278, 1989.
- EKDALE, Allan Anton; BROMLEY, Richard Granville; PEMBERTON, S. George. Ichnology: the use of trace fossils in sedimentology and stratigraphy. 1984.
- EYLES, Nicholas; VOSSLER, Shawna M.; LAGOE, Martin B. Ichnology of a glacially-influenced continental shelf and slope; the late Cenozoic Gulf of Alaska (Yakataga Formation). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 94, n. 1-4, p. 193-221, 1992.
- FAN, Jun-xuan et al. A high-resolution summary of Cambrian to Early Triassic marine invertebrate biodiversity. **Science**, v. 367, n. 6475, p. 272-277, 2020.
- FEDER, H. M.; MATHEKE, G. E. M. Distribution, abundance, community structure and trophic structure of the benthic infauna of the northeast Gulf of Alaska. **Institute of Marine Science Report R78-8, University of Alaska, Fairbanks**, 1980.
- FELIX, M.; PEAKALL, J.; MCCAFFREY, W. D. Relative importance of processes that govern the generation of particulate hyperpycnal flows. **Journal of Sedimentary Research**, v. 76, n. 2, p. 382-387, 2006.
- FERNANDES, A. C. S.; CARVALHO, I. de S.; NETTO, R. G. Comentários sobre os traços fósseis do paleolago de Itu, São Paulo. **SIMP. REG. GEOL**, v. 6, p. 297-311, 1987.
- FRANÇA, Almério Barros; POTTER, Paul E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do grupo Harare (Permocarbonífero), Bacia do Paraná. I. **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, v. 2, n. 2-4, p. 147-191, 1988.
- FRANÇA, Almerio Barros; POTTER, Paul Edwin. Stratigraphy and reservoir potential of glacial deposits of the Itararé Group (Carboniferous-Permian), Paraná Basin, Brazil. **AAPG bulletin**, v. 75, n. 1, p. 62-85, 1991.
- FRANÇA, Almério Barros; WINTER, Wilson Rubem; ASSINE, Mario Luís. Arenitos Lapa-Vila Velha: um modelo de trato de sistemas subaquosos canal-lobos sob influência glacial, Grupo Itararé (CP), Bacia do Paraná. **Brazilian Journal of Geology**, v. 26, n. 1, p. 43-56, 1996.
- FREY, Robert W.; BROMLEY, Richard G. Ichnology of American chalks: the Selma Group (Upper Cretaceous), western Alabama. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 22, n. 6, p. 801-828,

1985.

- FREY, Robert W.; SEILACHER, Adolf. Uniformity in marine invertebrate ichnology. **Lethaia**, v. 13, n. 3, p. 183-207, 1980.
- FREY, Robert W. Ichnology—the study of fossil and recent lebensspuren. **Trace fossils, a field guide. Louisiana State Univ., School Geosci., Misc. Publ**, p. 71-1, 1971.
- FREY, Robert W. Concepts in the study of biogenic sedimentary structures. **Journal of Sedimentary Research**, v. 43, n. 1, 1973.
- GAILLARD, Christian; RACHEBOEUF, Patrick R. Trace fossils from nearshore to offshore environments: Lower Devonian of Bolivia. **Journal of Paleontology**, v. 80, n. 6, p. 1205-1226, 2006.
- GARCIA, Aurora Machado et al. Rochas glaciais sob o microscópio: microtexturas e microestruturas em fácies do Grupo Itararé. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 78, 2021.
- GLAESSNER, M. F. Palaeozoic arthropod trails from Australia. **PalZ**, v. 31, n. 1, p. 103-108, 1957.
- GILBERT, Robert. Rafting in glacialmarine environments. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 53, n. 1, p. 105-120, 1990.
- GOLDRING, R. et al. Facies variation in the Corallian Group (U. Jurassic) of the Faringdon-Shellingford area (Oxfordshire) and the rockground base to the Faringdon Sponge Gravels (L. Cretaceous). **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 109, n. 2, p. 115-125, 1998.
- GINGRAS, Murray K.; MACEACHERN, James A.; DASHTGARD, Shahin E. Process ichnology and the elucidation of physico-chemical stress. **Sedimentary Geology**, v. 237, n. 3-4, p. 115-134, 2011.
- GINGRAS, Murray K.; MACEACHERN, James A.; DASHTGARD, Shahin E. The potential of trace fossils as tidal indicators in bays and estuaries. **Sedimentary Geology**, v. 279, p. 97-106, 2012.
- GREB, Stephen F.; CHESNUT JR, Donald R. Paleocology of an estuarine sequence in the Breathitt Formation (Pennsylvanian), central Appalachian Basin. **Palaios**, p. 388-402, 1994.
- GROVES, John R.; LEE, Adam. Accelerated rates of foraminiferal origination and extinction during the late Paleozoic ice age. **The Journal of Foraminiferal Research**, v. 38, n. 1, p. 74-84, 2008.
- GROVES, John R.; YUE, Wang. Foraminiferal diversification during the late Paleozoic ice age. **Paleobiology**, v. 35, n. 3, p. 367-392, 2009.
- HAMBREY, Michael J. **Glacial environments**. UBC Press. 1994.
- HARRINGTON, Horacio J. The Permian Eurydesma fauna of eastern Argentina. **Journal of Paleontology**, p. 112-128, 1955.
- HENRIQUE-PINTO, R. et al. 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**, v. 111, p. 103511, 2021.
- HOLZ, Michael et al. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, n. 2, p. 381-399, 2010.
- HUBBARD, STEPHEN M.; GINGRAS, MURRAY K.; PEMBERTON, S. GEORGE. Palaeoenvironmental implications of trace fossils in estuary deposits of the Cretaceous Bluesky Formation, Cadotte region, Alberta, Canada.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON ZOOLOGICAL NOMENCLATURE; INTERNATIONAL UNION OF BIOLOGICAL SCIENCES. **International code of zoological nomenclature: International Commission on Zoological Nomenclature**. International Trust for Zoological Nomenclature, 1999.
- JOECKEL, R. M.; KORUS, J. T. Bayhead delta interpretation of an Upper Pennsylvanian sheetlike sandbody and the broader understanding of transgressive deposits in cyclothems. **Sedimentary Geology**, v. 275, p. 22-37, 2012.
- JUSTINO, Dayvisson. Geocronologia das sub-bacias triássicas Rincón Blanco e Cerro Pontudo, Argentina: combinação de metodologia U-Pb e Lu-Hf em zircão. 2016.
- KIPPER, Felipe; SOUZA, Paulo A.; VESELY, Fernando F. Palinomorfos e associações de fácies da Formação Lagoa Azul (Grupo Itararé, Pennsylvaniano da Bacia do Paraná) no sudeste do Estado do Paraná, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 44, n. 1, p. 93-108, 2017.
- KNAUST, D. Trace fossils and ichnofabrics on the Lower Muschelkalk carbonate ramp (Triassic) of Germany: tool for high-resolution sequence stratigraphy. **Geologische Rundschau**, v. 87, n. 1, p. 21-31, 1998.
- KNAUST, Dirk. **Atlas of trace fossils in well core: appearance, taxonomy and interpretation**. Springer. 2017.
- KNAUST, Dirk; CURRAN, H. Allen; DRONOV, Andrei V. Shallow-marine carbonates. In: **Developments in Sedimentology**. Elsevier, 2012. p. 705-750.
- LEGLER, Berit et al. Facies model of a fine-grained, tide-dominated delta: lower Dir Abu Lifa Member (Eocene), Western Desert, Egypt. **Sedimentology**, v. 60, n. 5, p. 1313-1356, 2013.
- LEINZ, Viktor. **Estudos sobre a glaciação Permo-carbonífera do Sul do Brasil**. República dos Estados Unidos do Brasil, Ministério da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Mineral, Serviço de Fomento da Produção Mineral, 1937
- LESZCZYŃSKI, Stanisław. Coniacian-? Santonian paralic sedimentation in the Rakowice Małe area of the North Sudetic Basin, SW Poland: Sedimentary facies, ichnological record and palaeogeographical reconstruction of an evolving marine embayment. In: **Annales Societatis**

Geologorum Poloniae. 2010. p. 1-24.

- LIAO, Jianbo et al. Genetic mechanisms of deep-water massive sandstones in continental lake basins and their significance in micro–nano reservoir storage systems: A case study of the Yanchang formation in the Ordos Basin. **Nanotechnology Reviews**, v. 9, n. 1, p. 489-503, 2020.
- LIMA, Joao Henrique Dobler et al. Ichnology of deglaciation deposits from the Upper Carboniferous Rio do Sul Formation (Itararé Group, Paraná Basin) at central-east Santa Catarina State (southern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 63, p. 137-148, 2015.
- MAACK, R. Geologia e geografia da região de Vila Velha e considerações sobre a glaciação carbonífera do Brasil. Curitiba. **Arquivos do Museu Paranaense**, v. 5, 1946.
- MACEACHERN, James A. et al. Ichnology of deltas: organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves, storms, and tides. 2005.
- MACEACHERN, James A.; BANN, Kerrie L. The Phycosiphon Ichnofacies and the Rosselia Ichnofacies: Two new ichnofacies for marine deltaic environments. **Journal of Sedimentary Research**, v. 90, n. 8, p. 855-886, 2020.
- MACEACHERN, James A.; GINGRAS, MURRAY K. Recognition of brackish-water trace-fossil suites in the Cretaceous Western Interior Seaway of Alberta, Canada. 2007.
- MACEACHERN, James A.; BANN, KERRIE L. The role of ichnology in refining shallow marine facies models. 2008. MCGHEE JR, George R. et al. Ecological ranking of Phanerozoic biodiversity crises: the Serpukhovian (early Carboniferous) crisis had a greater ecological impact than the end-Ordovician. **Geology**, v. 40, n. 2, p. 147-150, 2012.
- MACEACHERN, James A.; PEMBERTON, S. George. Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America. 1992.
- MACEACHERN, James A.; PEMBERTON, S. George. Ichnological aspects of incised-valley fill systems from the Viking Formation of the Western Canada Sedimentary Basin, Alberta, Canada. 1994.
- MÁNGANO, M. Gabriela; BUATOIS, Luis A. Ichnology of Carboniferous tide-influenced environments and tidal flat variability in the North American Midcontinent. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 228, n. 1, p. 157-178, 2004.
- MARQUES-TOIGO, Marleni et al. Afloramentos da área de Trombudo Central, Permiano Inferior, Santa Catarina: palinologia, icnologia e sedimentologia. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA**, p. 43-44, 1989
- MASON, T. R.; CHRISTIE, A. D. M. Palaeoenvironmental significance of ichnogenus *Diplocraterion* torell from the Permian vryheid formation of the Karoo Supergroup, South Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 52, n. 3-4, p. 249-265, 1986.

- MAURY, C. J. Fósseis silurianos do Estado de Santa Catharina. 1927.
- MIALL, Andrew D. **The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology**. Springer. 1996
- MILANI, Edson J. Intraplate tectonics and the evolution of the Paraná basin, SE Brazil. In: **Conference on inversion tectonics of the Cape Fold Belt**. p. 101-108, 1992.
- MILANI, Edison. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997
- MILANI, Edison. J. The Paraná Basin: a multi-cycle sedimentary and magmatic intracratonic province of W Gondwana. In: **Problems in Western Gondwana Geology, I workshop, Gramado, Brazil, extended abstracts**. p. 99-107, 2007
- MILANI, Edison J.; Ramos, V.A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998.
- MILANI, Edison José et al. Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 15, n. 2, p. 183-205, 2007.
- MILANI, Edison José; DE WIT, M. J. Correlations between the classic Paraná and Cape–Karoo sequences of South America and southern Africa and their basin infills flanking the Gondwanides: du Toit revisited. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 294, n. 1, p. 319-342, 2008.
- MOTTIN, Thammy Ellin et al. The paths and timing of late Paleozoic ice revisited: New stratigraphic and paleo-ice flow interpretations from a glacial succession in the upper Itararé Group (Paraná Basin, Brazil). **Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology**, v. 490, p. 488-504, 2018.
- MOURO, Lucas D. et al. Benthic anoxia, intermittent photic zone euxinia and elevated productivity during deposition of the Lower Permian, post-glacial fossiliferous black shales of the Paraná Basin, Brazil. **Global and planetary change**, v. 158, p. 155-172, 2017.
- MULDER, Thierry; ALEXANDER, Jan. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. **Sedimentology**, v. 48, n. 2, p. 269-299, 2001.
- MULDER, Thierry; SYVITSKI, James PM. Turbidity currents generated at river mouths during exceptional discharges to the world oceans. **The Journal of Geology**, v. 103, n. 3, p. 285-299, 1995.
- NETTO, Renata G. et al. Ichnological signatures of shallow freshwater lakes in the glacial Itararé group (Mafra Formation, upper Carboniferous–Lower Permian of Paraná Basin, S Brazil).

- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 272, n. 3-4, p. 240-255, 2009.
- NETTO, Renata G. et al. Glacial environments. In: **Developments in Sedimentology**. Elsevier, 2012. p. 299-327.
- NEUMANN, A. Conrad. Observations on coastal erosion in Bermuda and measurements of the boring rate of the sponge, Cliona LAMPA 1, 2. **Limnology and Oceanography**, v. 11, n. 1, p. 92-108, 1966.
- NICKELL, Lois A.; ATKINSON, R. James A. Functional morphology of burrows and trophic modes of three thalassinidean shrimp species, and a new approach to the classification of thalassinidean burrow morphology. **Marine Ecology Progress Series**, v. 128, p. 181-197, 1995.
- NOFFKE, N. et al. Microbially Induced Sedimentary Structures--A New Category Within the Classification of Primary Sedimentary Structures--Reply. **Journal of Sedimentary Research**, v. 72, n. 4, p. 589-590, 2002.
- NOGUEIRA, M. dos S.; NETTO, R. G. Icnofauna da Formação Rio do Sul (Grupo Itararé, Permiano da bacia do Paraná) na Pedreira Itaú-Itauna, Santa Catarina, Brasil. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 52, n. 53, p. 397-406, 2001a.
- NOGUEIRA, M. dos S.; NETTO, R. G. A presença de Cruziana nos sedimentos da Formação Rio do Sul (Grupo Itararé, Permo-Carbonífero da bacia do Paraná) na Pedreira Itaú-Itauna, Santa Catarina, Brasil. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 52, n. 53, p. 387-396, 2001b.
- PEMBERTON, S. George; FLACH, Peter D.; MOSSOP, Grant D. Trace fossils from the Athabasca oil sands, Alberta, Canada. **Science**, v. 217, n. 4562, p. 825-827, 1982.
- PEMBERTON, S. George et al. The conceptual framework of ichnology. 1992.
- PEMBERTON, S. George. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. **Facies models: response to sea level change**, p. 157-177, 1992.
- PEMBERTON, S. George; MACEACHERN, James A.; RANGER, Michael J. Ichnology and event stratigraphy: the use of trace fossils in recognizing tempestites. 1992.
- PEMBERTON, S. George; MACEACHERN, James A. The sequence stratigraphic significance of trace fossils: examples from the Cretaceous foreland basin of Alberta, Canada. 1995
- PEMBERTON, S. George; WIGHTMAN, Daryl M. Ichnological characteristics of brackish water deposits. 1992.
- PEMBERTON, S. George; MACEACHERN, James A.; SAUNDERS, Tom. Stratigraphic applications of substrate-specific ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 228, n. 1, p. 29-62, 2004
- PERDONCINI, Leila Cristina. Diamantes do rio Tibagi, Paraná: fonte no grupo Itararé? 1997.

- PEARSON, Nadine J. et al. Environmental variability of *M. acaronichnus* ichnofabrics in Eocene tidal-embayment deposits of southern Patagonia, Argentina. **Lethaia**, v. 46, n. 3, p. 341-354, 2013.
- POWELL, Matthew G. Climatic basis for sluggish macroevolution during the late Paleozoic ice age. **Geology**, v. 33, n. 5, p. 381-384, 2005.
- RAMOS, Victor A. et al. Chilenia: un terreno alóctono en la evolución paleozoica de los Andes Centrales. In: **Congreso Geológico Argentino**, p. 84-106, 1984
- RAMOS, Victor A. Late Proterozoic-early Paleozoic of South America-a collisional history. **Episodes Journal of International Geoscience**, v. 11, n. 3, p. 168-174, 1988.
- RAMOS, Victor A. Patagonia: A Paleozoic continent adrift? **Journal of South American Earth Sciences**, v. 26, n. 3, p. 235-251, 2008.
- RAWLING, Geoffrey C.; GOODWIN, Laurel B. Cataclasis and particulate flow in faulted, poorly lithified sediments. **Journal of Structural Geology**, v. 25, n. 3, p. 317-331, 2003.
- REINECK, Hans-Erich. Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsee: Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft. 1963
- ROSA, Eduardo L.M et al. Constraining the timing, kinematics and cyclicity of Mississippian-Early Pennsylvanian glaciations in the Paraná Basin, Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 384, p. 29-49, 2019.
- ROCHA-CAMPOS, A. C. The Tubarao Group in the Brazilian portion of the Parana basin. **Problems in Brazilian Gondwana Geology**, p. 344, 1967.
- RODRÍGUEZ-TOVAR, Francisco J.; PÉREZ-VALERA, Fernando; PÉREZ-LÓPEZ, Alberto. Ichnological analysis in high-resolution sequence stratigraphy: The *Glossifungites* ichnofacies in Triassic successions from the Betic Cordillera (southern Spain). **Sedimentary Geology**, v. 198, n. 3-4, p. 293-307, 2007.
- RODRÍGUEZ-TOVAR, Francisco J.; PÉREZ-VALERA, Fernando. Trace fossil *Rhizocorallium* from the Middle Triassic of the Betic Cordillera, Southern Spain: characterization and environmental implications. **Palaios**, v. 23, n. 2, p. 78-86, 2008.
- RODRÍGUEZ-TOVAR, Francisco J.; PÉREZ-VALERA, Fernando. Variations in population structure of *Diplocraterion parallelum*: hydrodynamic influence, food availability, or nursery settlement? **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 369, p. 501-509, 2013.
- RUST, Brian R. Mass flow deposits in a Quaternary succession near Ottawa, Canada: diagnostic criteria for subaqueous outwash. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 14, n. 2, p. 175-184, 1977.
- SANTOS, P. R.; ROCHA-CAMPOS, A. C.; CANUTO, José Roberto. Patterns of late Palaeozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology,**

- Palaeoecology**, v. 125, n. 1-4, p. 165-184, 1996
- SCHATZ, Elizabeth R. et al. Life in the Late Paleozoic Ice Age: Trace fossils from glacially influenced deposits in a Late Carboniferous fjord of western Argentina. **Journal of Paleontology**, v. 85, n. 3, p. 502-518, 2011.
- SCHATZ, Elizabeth. **Ichnology of Holocene Glaciomarine Sediments: Maktak, Coronation and North Pangnirtung Fjords, Baffin Island, Canada**. 2012. Tese de Doutorado. University of Saskatchewan.
- SCHNEIDER, Ril et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso brasileiro de Geologia**. p. 41-65, 1974
- SEDORKO, Daniel; FRANCISCHINI, Heitor. **Icnologia: interações entre organismos e substratos**. Editora CRV, 2021.
- SHI, Yukun et al. Carboniferous-earliest Permian marine biodiversification event (CPBE) during the Late Paleozoic Ice Age. **Earth-Science Reviews**, v. 220, p. 103699, 2021.
- SIMÕES, Marcello Guimarães et al. Permian bivalves of the Taciba Formation, Itararé Group, Paraná Basin, and their biostratigraphic significance. **Boletim IG-USP, Série Científica**, v. 12, p. 71-82, 2012.
- TAYLOR, A. M.; GAWTHORPE, R. L. Application of sequence stratigraphy and trace fossil analysis to reservoir description: examples from the Jurassic of the North Sea. In: **Geological Society, London, Petroleum Geology Conference series**. Geological Society of London, 1993. p. 317-335.
- VESELY, F. F. Dinâmica Sedimentar e Arquitetura Estratigráfica do Grupo Itararé (Carbonífero–Permiano) no Centro-leste da Bacia do Paraná. Curitiba. 226 p. 2006. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.
- VESELY, F. F.; ASSINE, M. L. Sequences and depositional systems tracts in the glacial Itararé Group, Permocarbiniferous of the Paraná Basin, southern Brazil. In: **3rd Latin American Congress of Sedimentology, Belém 2003, Symposium Theme**, p. 310-312, 2003
- VESELY, F. F.; ASSINE, M. L. Seqüências e tratos de sistemas deposicionais do Grupo Itararé, norte do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(2), 219-230, 2004
- VESELY, F. F.; ASSINE, Mario Luis. Deglaciation sequences in the Permo-Carboniferous Itararé Group, Paraná Basin, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 22, n. 3-4, p. 156-168, 2006.
- VESELY, F. F.; TRZASKOS, B.; KIPPER, F.; ASSINE, M. L.; Souza, P. A. Sedimentary record of a fluctuating ice margin from the Pennsylvanian of western Gondwana: Paraná Basin, southern Brazil. *Sedimentary Geology*, 326, 45-63, 2015

- VESELY, F. F. et al. Recurrent emplacement of non-glacial diamictite during the late Paleozoic ice age. **Geology**, v. 46, n. 7, p. 615-618, 2018.
- VESELY, F. F.; DELGADO, D.; SPISILA, A. L.; BRUMATTI, M. Divisão litoestratigráfica do Grupo Itararé no estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, 78, 2021.
- WALKER, Roger G. Wave and storm dominated shallow marine systems. **Facies Models-response to sea level change-**, p. 219-238, 1992.
- WANG, Xiang-Dong et al. Diversity patterns of Carboniferous and Permian rugose corals in South China. **Geological Journal**, v. 41, n. 3-4, p. 329-343, 2006.
- WILLIS, Brian J. Deposits of tide-influenced river deltas. 2005.
- WILLIS, B. J. et al. Architecture of a tide-influenced river delta in the Frontier Formation of central Wyoming, USA. **Sedimentology**, v. 46, n. 4, p. 667-688, 1999.
- ZALÁN, Pedro Victor et al. The Parana Basin, Brazil: Chapter 33: Part II. Selected Analog Interior Cratonic Basins: Analog Basins. 1990
- ZONNEVELD, John-Paul.; BEATTY.; Tyler W.; PEMBERTON, S. George. Lingulide brachiopods and the trace fossil *Lingulichnus* from the Triassic of western Canada: implications for faunal recovery after the end-Permian mass extinction. **Palaios**, v. 22, n. 1, p. 74-97, 2007.
- ZAVALA, Carlos. Hyperpycnal (over density) flows and deposits. **Journal of Palaeogeography**, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2020.