

Tafofácies, correlação estratigráfica e paleoambientes em uma nova seção devoniana na Bacia do Paraná (PR, Brasil)

Taphofacies, stratigraphic correlation and paleoenvironments in a new devonian section in the Paraná Basin (PR, Brazil)

Tafofacies, correlación estratigráfica y paleoambientes en una nueva sección devónica de la Cuenca del Paraná (PR, Brasil)

Elvio Pinto Bosetti

<https://orcid.org/0000-0003-1120-4933>

elviobosetti@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR, Brasil

Kevin William Richter

<https://orcid.org/0000-0002-2576-4117>

kevinwilliamrichter@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR, Brasil

Luana Oliveira

<https://orcid.org/0000-0002-6325-6789>

luanety18@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR, Brasil

Isabelle de Siqueira Tavares

<https://orcid.org/0000-0002-1103-5925>

isabelletavares597@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR, Brasil

Iniwara Kurovski Pereira

<https://orcid.org/0000-0002-8325-2128>

iniwara47@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR, Brasil

Gabrieli Goltz

<https://orcid.org/0000-0002-5664-8872>

gabrieligoltz@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR, Brasil

Daniel Sedorko

<https://orcid.org/0000-0002-9324-3460>

dsedorko@gmail.com

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Resumo: O arcabouço estratigráfico na porção sul da Bacia do Paraná representada pelos estratos do Sistema Devoniano preserva um rico depósitoossilífero. Este depósito é marcado pela presença de uma paleofauna comumente referida como endêmica

composta por organismos bentônicos do Domínio Malvinocáfrico. O presente estudo configura a interpretação de uma nova seção deposicional e para tanto as novas áreas foram visitadas em campo e descritas nos aspectos faciológicos, icnológicos e tafonômicos. A pesquisa resultou na interpretação de fácies de ambiente marinho influenciados por tempestades em uma situação de estresse ecológico previamente estabelecido no intervalo imediatamente anterior ao evento de extinção *Kačák*.

Palavras-chave: Devoniano, Estratigrafia, Tafonomia, Icnologia, Paleoambientes.

Abstract: The stratigraphic framework in the southern portion of the Paraná Basin, represented by the Devonian System strata, preserves a rich fossil deposit. This deposit is marked by the presence of a paleofauna commonly referred to as endemic, composed of benthic organisms from the Malvinocaffric Realm. The present study constitutes the interpretation of a new depositional section, and for this purpose, the new areas were visited in the field and described in terms of facies, ichnology, and taphonomy. The research resulted in the interpretation of facies from a marine environment influenced by storms in a situation of ecological stress established immediately before the *Kačák* extinction event.

Keywords: Devonian, Stratigraphy, Taphonomy, Ichnology, Paleoenvironments.

Resumen: El marco estratigráfico en la porción sur de la Cuenca del Paraná, representado por los estratos del Sistema Devónico, preserva un rico depósito fósil. Este depósito se caracteriza por la presencia de una paleofauna comúnmente referida como endémica, compuesta por organismos bentónicos del Dominio Malvinocáfrico. El presente estudio constituye la interpretación de una nueva sección deposicional y, para ello, las nuevas áreas fueron visitadas en el campo y descritas en términos faciológicos, icnológicos y tafonómicos. La investigación resultó en la interpretación de facies de un ambiente marino influenciado por tormentas en una situación de estrés ecológico establecida inmediatamente antes del evento de extinción de *Kačák*.

Palabras clave: Devónico, Estratigrafía, Tafonomía, Icnología, Paleoambientes.

INTRODUÇÃO

O arcabouço estratigráfico na porção sul da Bacia do Paraná representada pelos estratos do sistema Devoniano preserva um rico depósito fossilífero, marcado pela presença de uma paleofauna de organismos bentônicos do Domínio Malvinocáfrico (Richter, 1941; Boucot, 1971; Melo, 1985; Horodyski *et al.*, 2014; Sedorko *et al.*, 2021; Kurovski, 2023). Registros recentes de partes corpóreas de vertebrados (*i.e.* espinhos e barbatanas; Richter *et al.*, 2017) somam-se à paleofauna. O contexto deposicional associado às informações tafonômicas e icnológicas do Devoniano da Bacia do Paraná, indicam a deposição em paleoambiente marinho dominado por tempestades (Rodrigues *et al.*, 2003; Zabini, Bosetti & Holtz, 2010; Bosetti *et al.*, 2012, 2021; Horodyski *et al.*, 2014, 2019; Sedorko *et al.*, 2018a, 2021).

A descrição de áreas expostas ao longo da BR 153 na região dos Campos Gerais do Paraná resultou na construção da seção colunar Tibagi – Alto do Amparo (Bosetti & Horodyski, 2008). Os afloramentos foram registrados e empilhados por Bosetti *et al.* (2007), correlacionados com o arcabouço estratigráfico de sequências de Bergamaschi (1999), caracterizando predomínio de tratos de sistemas transgressivos na sua maior extensão. Dados sedimentológicos e tafonômicos balizaram interpretações paleoambientais, sugerindo

condições de *shoreface* ao *offshore* dominados por tempestades no intervalo Praguiano-Givetiano (formações Ponta Grossa e São Domingos – *sensu* Grahn *et al.* (2013) e Horodyski *et al.* (2014, 2019). Os arcabouços de sequências foram ainda revisados considerando a distribuição icnológica, resultando em quatro sequências deposicionais do Siluriano ao Devoniano Médio (Sedorko *et al.*, 2018a).

Trabalhos recentes de prospecção ao longo de estradas vicinais no entorno do município de Tibagi no estado do Paraná registraram novos afloramentos e este estudo visa (i) caracterizar os paleoambientes com base nos dados tafonômicos, icnológicos e sedimentológicos; e (ii) correlacionar a nova seção com o arcabouço estratigráfico regional.

CONTEXTO GEOLÓGICO

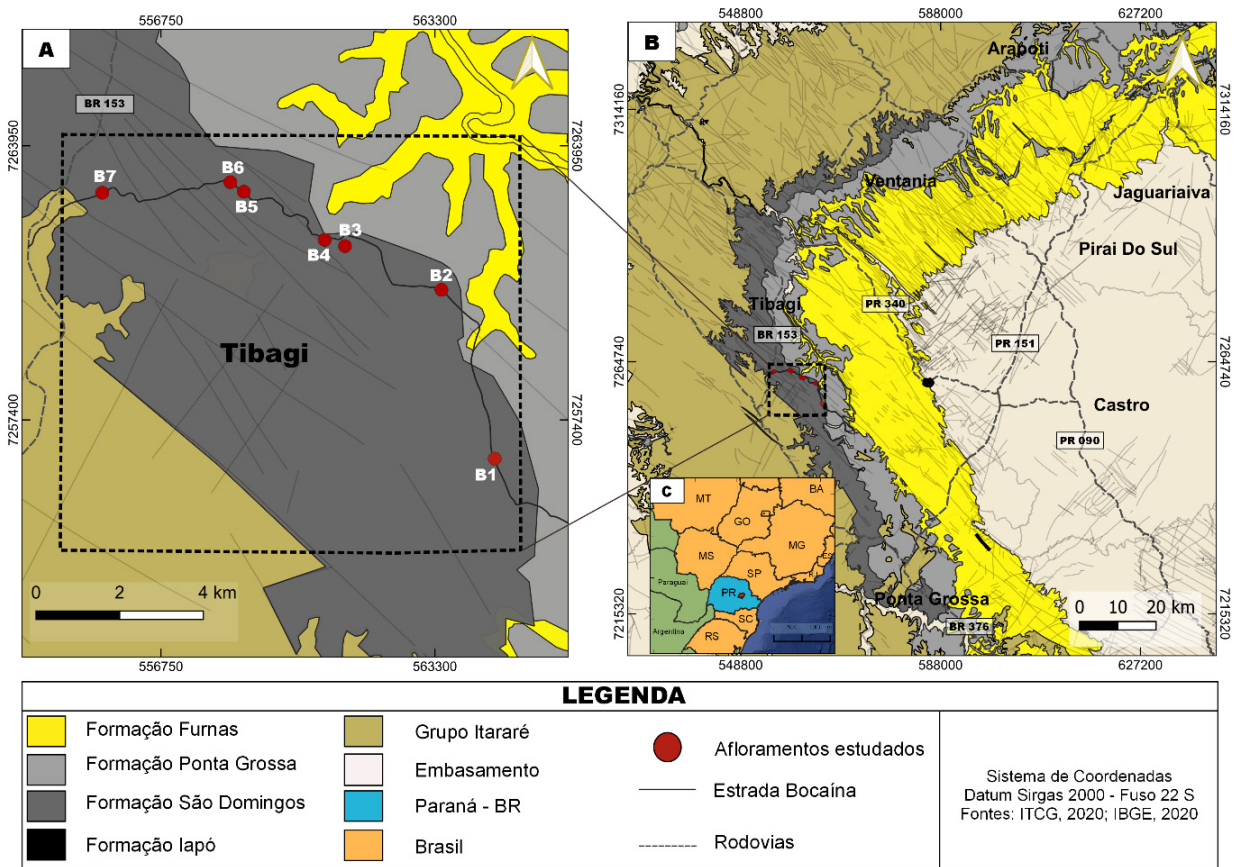
A Bacia do Paraná configura uma ampla região sedimentar cobrindo uma área de 1.600.000 km² na plataforma sul-americana, abrangendo porções do território brasileiro, paraguaio, argentino e uruguaio. A evolução do seu preenchimento sedimentar foi controlada por ciclos tectônicos-eustáticos associados à evolução do Gondwana Ocidental durante o Paleozoico e Mesozoico (Milani & Ramos, 1998; Milani *et al.*, 2007). Os ciclos compreendem sequências de segunda ordem entre o Ordoviciano Superior ao Cretáceo Superior (Milani *et al.*, 2007; Henrique-Pinto *et al.*, 2021).

Os estratos aqui tratados são inseridos na Supersequência Paraná, que se estende do Siluriano Inferior ao Devoniano Médio, controlada por um ciclo transgressivo-regressivo relacionado a oscilações do nível do mar e de subsidência (Bergamaschi & Pereira, 2001; Milani *et al.*, 2007; Sedorko *et al.*, 2017, 2018a). A Supersequência Paraná foi dividida em 4 sequências (Sedorko *et al.*, 2018a): na base, a sequência *Lower Silurian* engloba as unidades inferior e média da Formação Furnas; a sequência *Silurian-Devonian* abrange a unidade superior da Formação Furnas e a Formação Ponta Grossa (*sensu* Grahn *et al.*, 2013); a sequência *Devonian I* engloba parte do Membro Tibagi e da Formação São Domingos; e a sequência *Devonian II* engloba o topo da Formação São Domingos.

Os dados estratigráficos e paleontológicos apresentados neste trabalho foram obtidos ao longo da estrada secundária da Serra da Bocaina que liga a BR 376 à BR 153 entre os municípios de Ponta Grossa, Carambeí e Tibagi (PR; Fig. 1A). Os afloramentos fazem parte do Grupo Campos Gerais (*sensu* Gaugris & Grahn, 2006; Mendlowicz Mauller *et al.*, 2009; Grahn *et al.*, 2013). O grupo é constituído a partir da base para o topo por: Formação Furnas; Formação Ponta Grossa; Formação São Domingos (para síntese, consulte Grahn *et al.*, 2013; para outras interpretações ver Sedorko *et al.*, 2018a; Fig. 1B).

Na Formação Furnas predominam icnofósseis agrupados na icnofácies *Cruziana*, com pontuais níveis da icnofácies *Skolithos* (Sedorko *et al.*, 2017, Richter *et al.*, 2023). Na Formação Ponta Grossa predominam expressões da icnofácies *Cruziana* com destaque para ocorrências do icnogênero *Zoophycos* (Sedorko *et al.*, 2018b, Richter, Bosetti & Sedorko, 2021). Por fim, na Formação São Domingos predominam expressões da icnofácies *Cruziana*, com pontuais níveis das icnofácies *Skolithos* e *Glossifungites* (Sedorko *et al.*, 2019, 2022). Os afloramentos aqui estudados se inserem na Formação São Domingos.

Figura 1 - Mapa dos afloramentos estudados. A. Localização dos afloramentos estudados; B. Visão geral das Formações Furnas, Ponta Grossa e São Domingos.

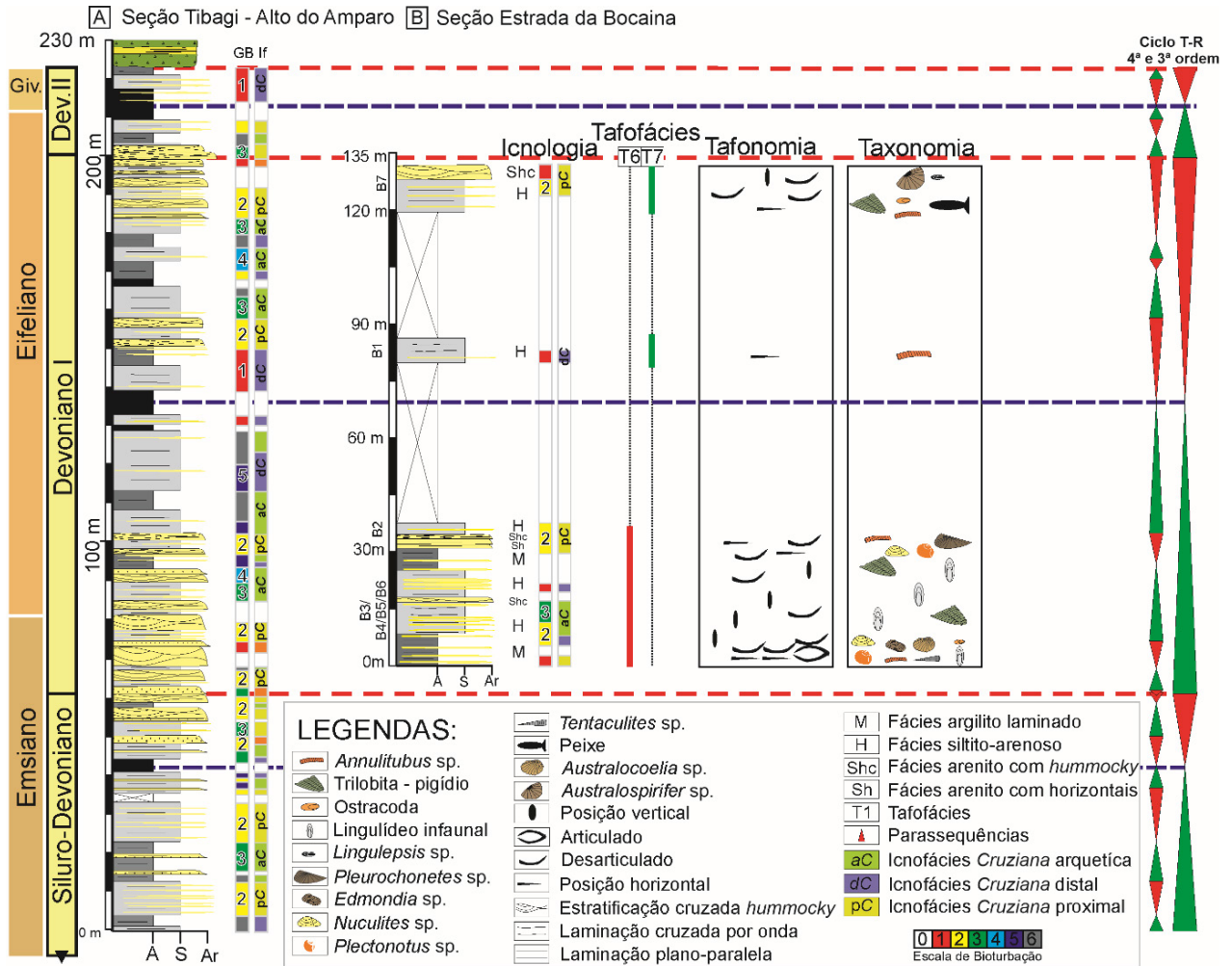


Fonte: elaborado a partir de ITCG (2020) e IBGE (2020).

A Formação São Domingos consiste em argilitos laminados, folhelhos, siltitos com laminação planar e acamamento heterolítico e arenitos, por vezes conglomeráticos, com laminações cruzadas por ondas e estratificação cruzada *swaley* ou *hummocky* (Fig. 2A).

A seção apresenta 135 m de espessura inclusas áreas encobertas, sendo representada por 68 m de exposição de rocha em sete afloramentos nominados como B1, B2, B3, B4, B5, B6 e B7 (Fig. 2B). A base compreende 36 m de folhelho siltico cinza escuro com intercalações centimétricas de arenito fino sobrepostos por siltito laminado com lentes delgadas de arenito fino. A porção média apresenta 12 m de siltito argiloso micáceo em acamamento heterolítico, com predomínio de *wavy bedding*. O topo da seção possui 20 m de siltito com laminação planar, sobreposto por camadas decimétricas de arenito muito fino a fino com estratificação cruzada *hummocky*.

Figura 2 - Seções Colunares. A. Seção Tibagi-Alto do Amparo; B. Seção Estrada da Bocaina.



METODOLOGIA

O material estudado está depositado no Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) sob o acrônimo DEGEO/MPI 19.052-19.153, 19.219-19.250 e 19.319-19.331, 19474 e 19504-19505. Totalizando 147 amostras que contém um ou mais espécimes fósseis (Quadro 1). Os táxons registrados estão no contexto paleobiogeográfico do Domínio Malvinocáfrico (Richter, 1941; Boucot, 1971; Melo, 1985; Bosetti *et al.*, 2012; Sedorko *et al.*, 2021).

Quadro 1 - Bioclastos identificados na seção por afloramentos.

		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
BRACHIOPODA	<i>Australospirifer</i> sp.							X
	<i>Australocoelia</i> sp.			X				
	<i>Kentronetes</i> sp.		X					
	Lingulídeo infaunal			X	X	X		
	<i>Lingulepis</i> sp.							X
MOLLUSCA	<i>Edmondia</i> sp.			X				
	<i>Nuculites</i> sp.			X	X	X		
	<i>Plectonotus</i> sp.		X	X		X		
	<i>Tentaculites</i> sp.				X	X		
ARTHROPODA	Trilobita Calmoniidae				X			X
	Ostracoda			X				X
ANNELIDA	<i>Annulitubus</i> sp.	X	X	X	X			X

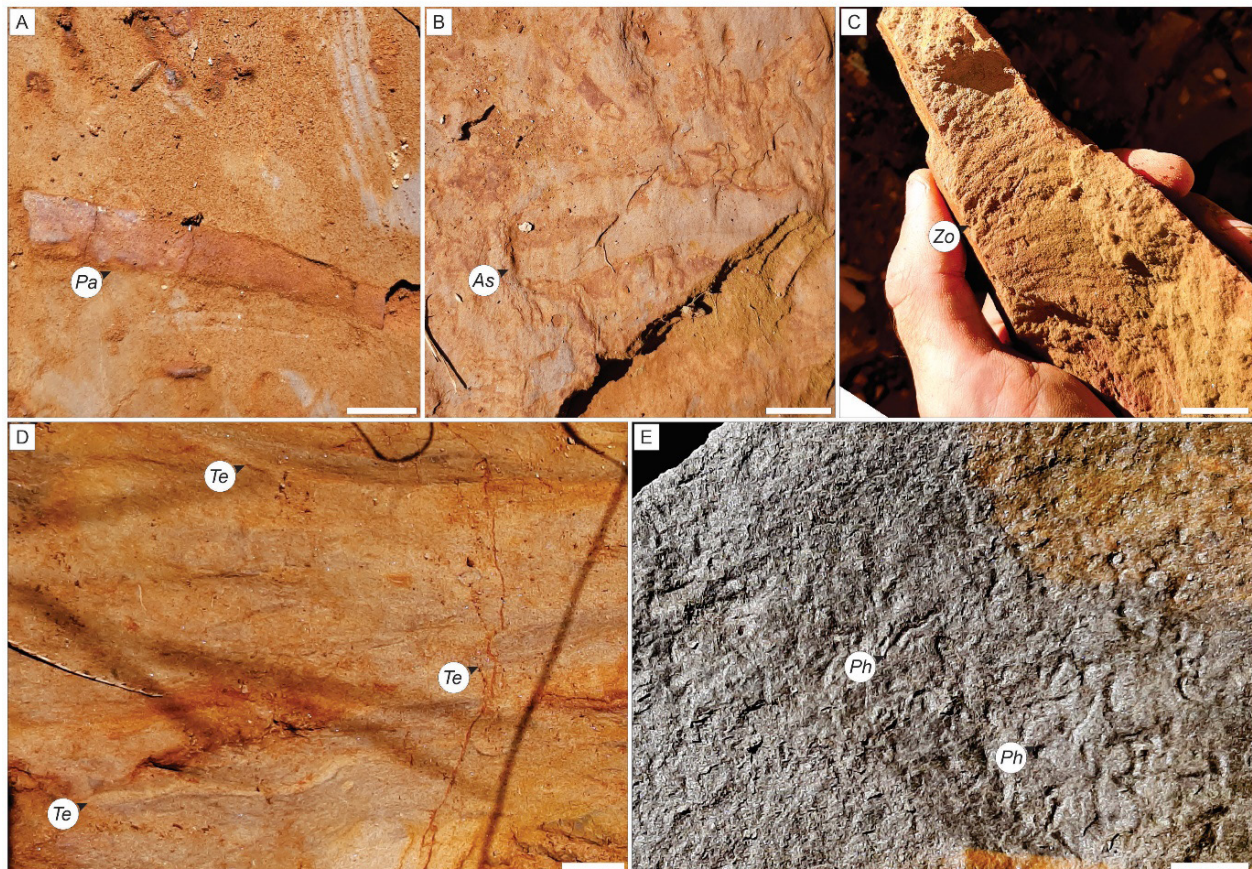
A aquisição dos dados considerou aspectos sedimentológicos, com descrição da textura, geometria das camadas, estruturas sedimentares primárias e associação de fácies; dados paleontológicos, com a identificação dos táxons, quantificação das assinaturas tafonômicas (*e.g.* posição na camada, articulação e fragmentação) interpretadas em tafofácies e dados icnológicos seguindo as icnotaxobases como proposto por Bromley (1996) e quantificadas de acordo com a escala de grau de bioturbação (GB) 0 (sem bioturbação) a 6 (homogeneizado pela ação biogênica) de Reineck (1963). A integração dessas análises permitiu a inferência do contexto paleoambiental representado na nova seção, possibilitando a correlação com o arcabouço estratigráfico regional da seção colunar Tibagi – Alto do Amparo (*sensu* Bosetti & Horodyski, 2008).

RESULTADOS

Foram identificadas quatro fácies sedimentares: argilito laminado (fácies M), heterolito síltico-arenoso (fácies H), arenito muito fino a fino com estratificação cruzada *hummocky* (fácies Shc) e arenito fino com estratificação horizontal (fácies Sh) (Fig. 2B). O conteúdo icnológico foi agrupado em três suítes que expressam a icnofácies *Cruziana*. A suíte *Cruziana* proximal apresenta baixa intensidade (GB 1-2) e baixa icnodiversidade, com predomínio de escavações horizontais simples com preenchimento passivo, identificadas

como *Palaeophycus* (Fig. 3A), associadas a escavações ramificadas com preenchimento passivo, identificadas como *Thalassinoides*. Menos frequente são escavações verticalizadas ou horizontalizadas com concentricidade e em formato de “bulbo”, identificadas como *Asterosoma* (Fig. 3B), respectivamente, e escavações verticais simples identificadas como *Skolithos*. Em alguns níveis ocorrem escavações com simetria radial em epirrelevo, sem atribuição icnotaxonômica (*i.e.* ?*Bergaueria*; Fig. 5G). A suíte *Cruziana* arquetípica possui moderada intensidade de bioturbação (GB 2-3) e é dominada por escavações horizontais com *spreiten*, em formato de ‘U’ ou helicoidal, identificadas como *Rhizocorallium* ou *Zoophycos* (Fig. 3C), respectivamente, e associadas a escavações horizontais simples com preenchimento ativo ou passivo, identificadas como *Planolites* e *Palaeophycus*, respectivamente. Mais raramente ocorrem escavações horizontalizadas com concentricidade e em formato de “bulbo”, identificadas como *Asterosoma*, e escavações simples contendo *spreiten* vertical, atribuídas a *Teichichnus* (Fig. 3D). Por fim, a suíte *Cruziana* distal apresenta baixa intensidade (GB 1-2) e baixa icnodiversidade e é composta por escavações diminutas, meandranes e com *spreiten*, identificadas como *Phycosiphon* (Fig. 3E), e associadas com escavações ramificadas diminutas, com preenchimento mais escuro que a matriz e identificadas como *Chondrites*.

Figura 3 - Icnofósseis preservados na área em estudo. A. *Palaeophycus*; B. *Asterosoma*; C. *Zoophycos*; D. *Teichichnus*; E. *Phycosiphon*. Escala = 2 cm.



O conteúdo fossilífero foi agrupado de acordo com as assinaturas tafonômicas descritas, o que possibilitou o diagnóstico de duas Tafofácies, aqui denominadas de T1 e T2.

Tafofácies T1

Esta tafofácies (Fig. 2B) ocorre nas fácies M, H, e Shc e está associada com as três suítes icnológicas descritas. Ocorrem fósseis corpóreos de esqueleto bivalves (*e.g.* braquiópodes, moluscos e ostracodes; Fig. 4A; 4B; 4C; 4D; 4E e 5B) univalve (gastrópode e *Tentaculites*; Fig. 4F e 4G), e multi-elementos (*e.g.* trilobitas e vermes tubícolas; Fig. 5A e 5C). Os bioclastos apresentam-se predominantemente inteiros, desarticulados e horizontais em relação ao plano de acamamento, com poucas ocorrências de fósseis inteiros, articulados e em posição vertical.

Tafofácies T2

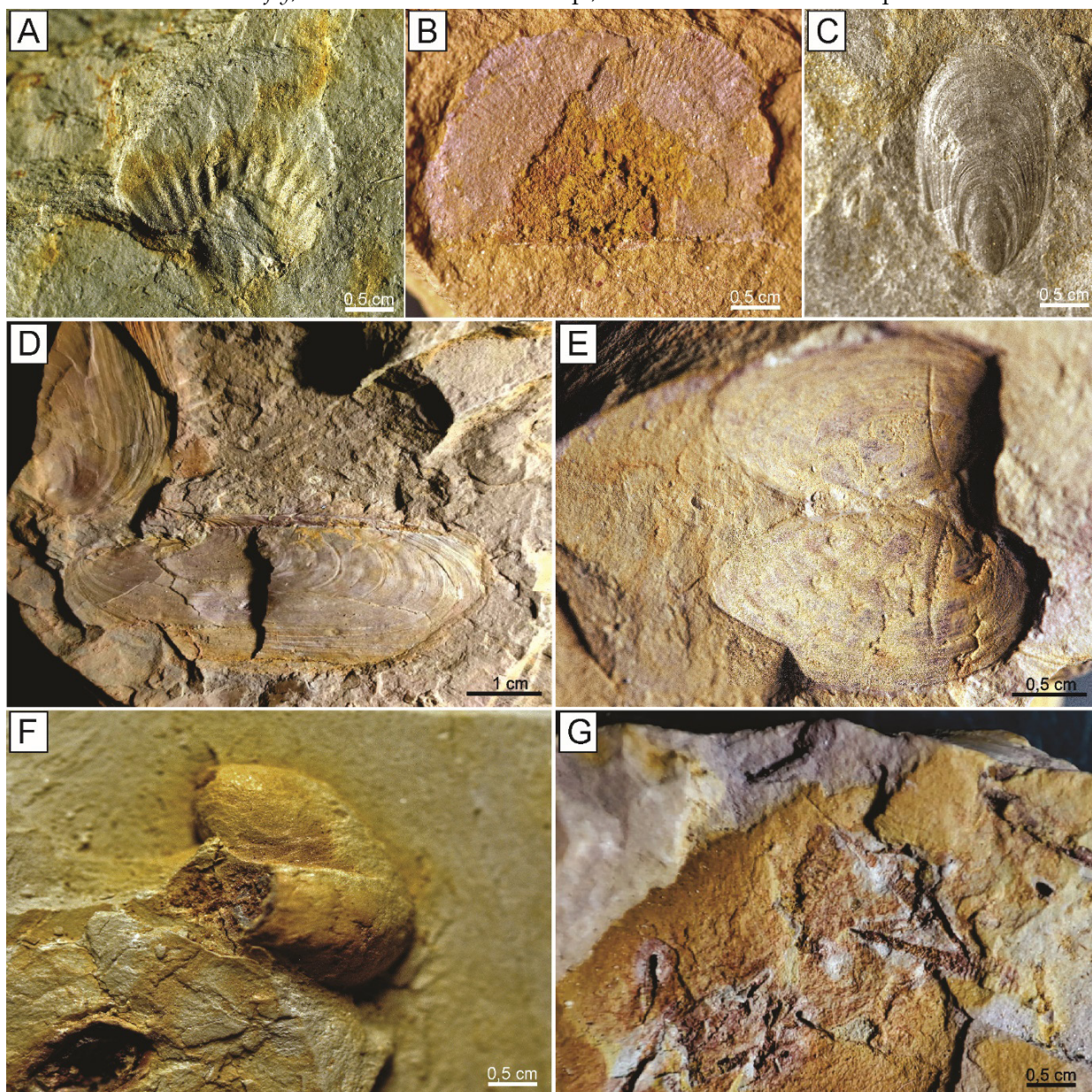
Esta tafofácies (Fig. 2B) ocorre na fácies Shc, em associação à icnofósseis da suíte *Cruziana* proximal. Ocorrem fósseis corpóreos de esqueleto bivalve (*e.g.* braquiópodes; Fig. 5E e 5F), inteiros e articulados, predominantemente verticais em relação ao plano de acamamento, com poucas ocorrências paralelas ao plano. Além da ocorrência de multi-elementos (*e.g.* trilobitas e vermes tubícolas; Fig. 5A e 5C).

DISCUSSÕES

As suítes icnológicas expressam condições de *shoreface* inferior (suíte *Cruziana* proximal), *offshore* transicional (suíte *Cruziana* arquetípica) e *offshore* (suíte *Cruziana* distal) (*sensu* Sedorko *et al.*, 2018a, 2019). A tafofácies 1 ocorre em níveis com suítes *Cruziana* Proximal, *Cruziana* Arquetípica e *Cruziana* distal, sugerindo ciclos de alternância na energia do meio. A tafofácies T1 preserva fósseis de braquiópodes com assinatura tafonômica (desarticulação) que sugere moderado tempo de residência e transporte (*e.g.* *Australocoelia*, *Kentronetes* e lingulídeos infaunais; Fig. 4A, 4B e 4C), preservados no mesmo nível que bioclastos *in situ* (*Edmondia*, *Nuculites* e lingulídeos infaunais Fig. 4D e 4E), estes últimos representando baixo tempo de residência. A alternância de fácies trativas (Shc, H) e de predomínio de decantação (M), somadas à sobreposição de assinaturas tafonômicas sugere eventos episódicos de tempestade (*e.g.* Horodyski *et al.*, 2019). Esta tafofácies ocorre predominantemente no trato de sistemas transgressivo da sequência Devoniano I (*sensu* Sedorko *et al.*, 2018a) e marca predomínio de *offshore* transicional, abaixo das ondas de tempestade. Ocorrências de retrabalhamento dos bioclastos transportados para *offshore* por eventos de tempestade foram registradas por Grahn e Bosetti (2010) em folhelhos pretos da Formação Ponta Grossa. Estas regiões de *offshore* marcam ambientes estáveis, corroboradas pela ocorrência da suíte *Cruziana* arquetípica com predomínio de *Zoophycos* (Richter *et al.*, 2021).

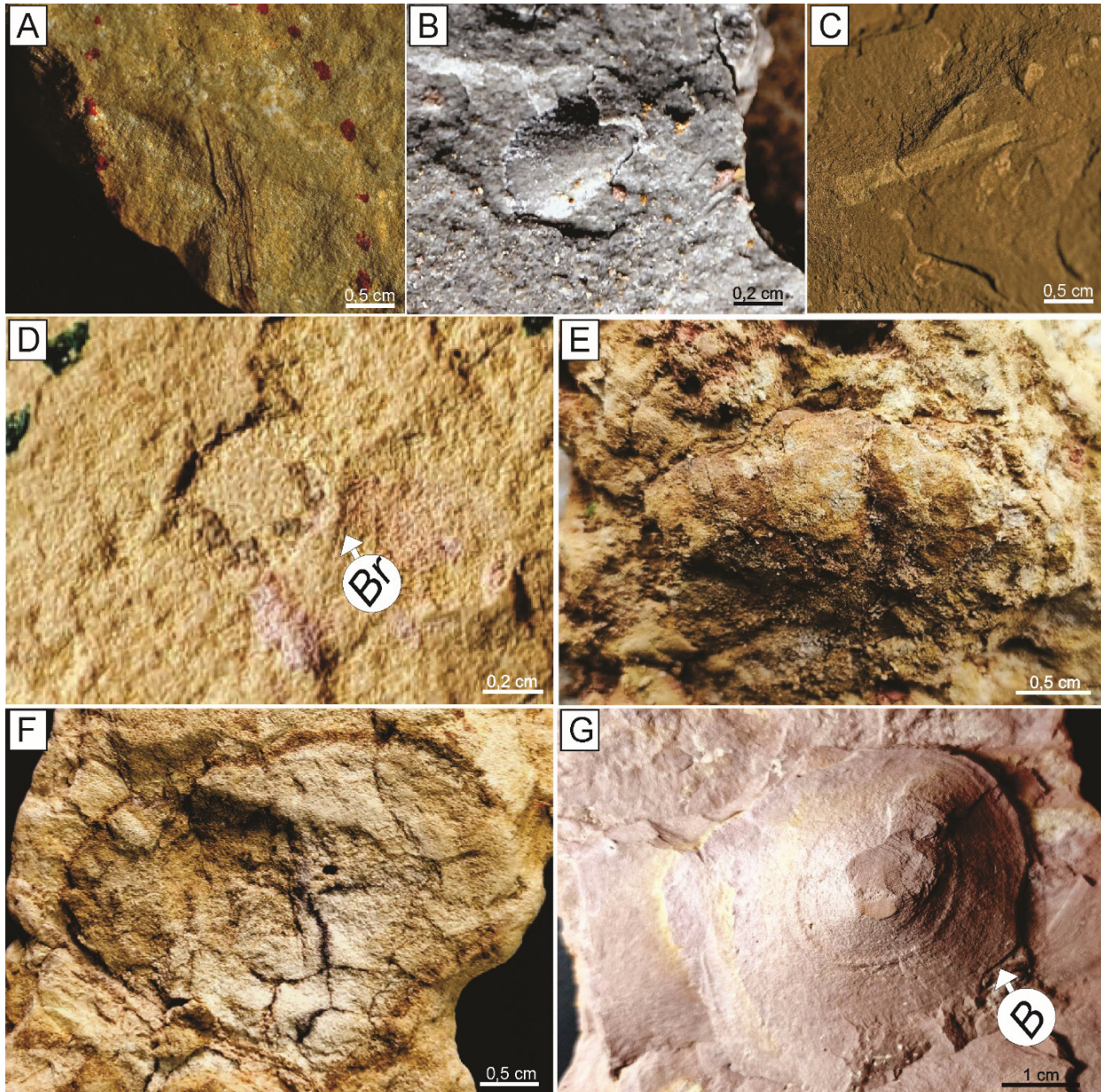
A tafofácies T2 ocorre em associação à suíte *Cruziana* proximal na fácies Shc, sugerindo predomínio de maior energia hidrodinâmica (Sedorko *et al.*, 2018a). Os bioclastos são predominantemente articulados, ocorrendo em posição vertical em relação ao plano de acamamento e com maior ocorrência de *Australospirifer* (Fig. 5E), sendo menos comum *Lingulepis* (Fig. 5F) desarticulado e concordante ao plano de acamamento. A ocorrência de fácies trativas (Shc) e assinaturas tafonômicas que indicam altas taxas de soterramento (*Australospirifer in situ*) sugere eventos episódicos de tempestade em contexto de *shoreface* inferior (e.g. Bosetti *et al.*, 2013; Horodyski *et al.*, 2019). Esta tafofácies ocorre no trato de sistemas de nível alto da sequência Devoniano I (*sensu* Sedorko *et al.*, 2018b), e marca regiões distais do *shoreface*.

Figura 4 - Principais fósseis identificados. A. MPI 19114 *Australocoelia* sp.; B. MPI 19125 A/B *Kentronetes* sp.; C. MPI 19134 A/B Lingulídeo infaunal; D. MPI 19117 *Edmondia* sp.; E. MPI 19248 *Nuculites* sp. em *Butterfly*; F. MPI 19114 *Plectonotus* sp.; G. MPI 19221 *Tentaculites* sp.



Durante o Emsiano Superior, a Bacia do Paraná experimentou sequências deposicionais regressivas. Este evento regressivo causou uma diminuição da lâmina d'água nas áreas marinhas e maior impacto de água doce nas zonas proximais, o que modificou as relações ecológicas, levando ao declínio da fauna referida como “Malvinocáfrica empobrecida” possivelmente relacionada ao evento *Daleje* (Bosetti *et al.*, 2012). Dados geoquímicos corroboram maior aporte de água doce no Emsiano Tardio (Rocha *et al.*, 2023).

Figura 5 - Principais fósseis identificados. A. MPI 19105 Somito de Trilobita; B. MPI 19320 A/B Ostracoda; C. MPI 19056 A/B *Annulitubus* sp.; D. MPI 19324 Briozóário (Br); E. MPI 19328 *Australospirifer* sp.; F. MPI 19507 A/B *Lingulepis* sp.; G. MPI 19115 ?*Bergaueria* isp (B).



A transgressão ocorrida no Eifeliano apresenta condições mais anóxicas para o topo da seção descrita (intervalo Emsiano-Eifeliano), corroborada por expressões da icnofácies

Cruziana arquetípica (Sedorko *et al.*, 2018a) e ausência de compostos N1, cujos principais precursores são bactérias e algas, e a diminuição no somatório da concentração de n-alcânicos (Rocha *et al.*, 2023). Este cenário possibilita a inferência de ocorrência do evento de extinção *Choteč* (*sensu* House, 2002). O impacto ecológico das condições disóxicas provavelmente afetou os produtores primários, importantes para os invertebrados marinhos da fauna Malvinocáfrica.

Durante a passagem Eifeliano-Givetiano a Bacia do Paraná, segundo Rocha *et al.* (2023), registrou extensivos *sea-ways* como resultado do aumento do nível do mar. A anoxia resultante desse processo pode ser corroborada pela presença de hidrocarbonetos (*i.e.* *Pristane/Phytane*) para os níveis de folhelho. Tais condições, somadas, podem desencadear uma crise biótica, neste caso, provavelmente relacionada ao intervalo imediatamente pré-*Kačák* (fácies analisadas no presente estudo) e pós-evento *Kačák*, registrado na região por Bosetti *et al.* (2011) e Horodyski *et al.* (2014). Todos os biomarcadores, compostos aromáticos PAH e polares NSO avaliados, corroboram a hipótese de restrições nutricionais severas na deposição registrada (Rocha *et al.*, 2023).

A ocorrência de escavações com simetria radial em epi-relevo indica a presença do icnogênero *Bergaueria* (Fig. 5G), que devido à má preservação do material estudado e ainda não registrado no Devoniano da Bacia do Paraná, é aqui referido com dúvida. No entanto, cnidários medusoides (presumíveis organismos geradores de *Bergaueria*) são conhecidamente animais extremófilos, que em momentos de crises bióticas em resposta as mudanças das condições ambientais, normalmente aumentam sua probabilidade de sobrevivência gerando uma superpopulação. Caso semelhante é observado pela ocorrência dos poliquetas do gênero *Annulitubus* (Fig. 5C) ao longo de toda a seção. A ocorrência marcante desses animais pode indicar condições paleoambientais de estresse ecológico, considerando principalmente seu possível comportamento oportunista (Tavares, 2022). Entretanto, os espécimes verificados neste estudo encontram-se com abundância relativa, associados com o restante da fauna ou ainda em níveis estratigráficos de ocorrência monoespecífica. Apesar da forma distinta da explosão numérica em detrimento da escassez dos demais organismos descritos por Tavares (2022), o seu comportamento oportunista, no presente caso, é sugerido pela ocorrência em todas as fácies aqui descritas, o que não é comum nos estratos mais inferiores do Devoniano da Bacia do Paraná. A marcante ocorrência dos vermes na seção é um dado muito relevante, pois é a primeira vez que se verifica *Annulitubus* associado com o restante da fauna de forma tão evidenciada.

Sabe-se que as transgressões marinhas estão frequentemente associadas a um clima mais quente, à circulação termohalina menos intensa e à menor oxigenação das águas profundas. Estes fenômenos afetam obviamente a fauna bentônica, particularmente os bentos sésseis. Por outro lado, a rápida regressão acompanhada de tempestades pode perturbar o estabelecimento de ecossistemas de biocenoses temporárias. As espécies bentônicas de ambientes marinhos apresentam duas estratégias de adaptação ao regime de instabilidade do ambiente: resiliência ou resistência. A biota resiliente tem a capacidade de recolonizar rapidamente áreas perturbadas por eventos de alta energia. É o caso dos lingulídeos infaunais e dos vermes tubícolas registrados ao longo de todo o perfil.

Comunidades resilientes e resistentes se alternam nos estratos sedimentares estudados de acordo com as alterações litológicas causadas pela constante oscilação do nível do mar. Essas oscilações são pontuadas por eventos de tempestade e foram diagnosticadas em todos os pavimentos investigados que estão imediatamente abaixo dos folhelhos negros da fácies *offshore* gerados durante o evento *Kačák*.

CONCLUSÕES

A descrição da nova seção preenche uma lacuna no arcabouço regional no intervalo do Eifeliano/Givetiano da Bacia do Paraná. A sistematização dos dados visualizados em campo nas áreas prospectadas, possibilitaram a interpretação paleoambiental em contexto marinho que vai do *shoreface* inferior ao *offshore* transicional influenciados por tempestades e marcados pela presença das expressões da icnofácies *Cruziana* proximal, arquetípica e distal.

As informações tafonômicas sugerem ciclos de alternância da energia hidrodinâmica do meio, ocasionando o processo de transporte de organismos de ambientes proximais para áreas mais profundas, o que sugere a presença de uma fauna parautóctone a alóctone no *offshore* transicional, em contrapartida, no topo da seção a ocorrência de fácies trativas e as assinaturas tafonômicas indicam altas taxas de soterramento por eventos episódicos de tempestade em contexto do *shoreface* inferior evidenciado pela presença de organismos *in situ*.

A posição estratigráfica dos sítios perfilados, bem como sua correlação com áreas adjacentes mais espessas e completas já descritas pelo grupo de pesquisa pode indicar que a nova seção representa um intervalo associado a interferências ambientais marcantes, evidenciando dessa forma, o início de uma crise biótica. Esses dados deverão ser aprofundados em estudos posteriores inseridos no próximo passo da pesquisa, uma vez que as condições aqui diagnosticadas sugerem um estresse ecológico imediatamente anterior a grande crise de extinção *Kačák*.

AGRADECIMENTOS

EPB agradece ao auxílio logístico fornecido pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) nos trabalhos de campo, os coautores KWR, LO, IST, IKP e GG agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento respectivamente (88887.716223/2022-00, 88887.711376/2022-00, 88887.751882/2022-00, 88887.751882/2022-00, 88887.711164/2022-00 e 88887.644641/2021-00); DS agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 306493/2022-5).

REFERÊNCIAS

- Bergamaschi, S. (1999). *Análise estratigráfica do Siluro-Devoniano (Formações Furnas e Ponta Grossa) da sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil*, 167. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar. Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de <https://doi.org/10.11606/T.44.1999.tde-18112015-101431>
- Bergamaschi, S., & Pereira, E. (2001). Caracterização de sequencias deposicionais de 3º ordem para o Siluro-Devoniano na sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil. *Ciência-Técnica-Petróleo. Seção Exploração de Petróleo*, 20: 63-72.
- Bosetti, E.P., Godoy, L.C., Zabini, C., & Horodyski, R.S. (2007). Descrição da base da nova Seção Colunar Tibagi-Alto do Amparo, Formação Ponta Grossa, Bacia do Paraná, Brasil – Implicações Sedimentológicas, Estratigráficas e Tafonômicas. In *Reunião anual da Sociedade Brasileira de Paleontologia – PALEO. 9*, Mafra, SC, Brasil. *Resumos ...* pp. 18-19.
- Bosetti, E.P., & Horodyski, R.S. (2008). Distribuição da macropaleofauna devoniana na seção colunar Tibagi-Alto do Amparo, Tibagi, Estado do Paraná. In *Congresso Brasileiro de Geologia*, 24, Curitiba, PR, Brasil. *Resumos...* p. 787.
- Bosetti, E.P., Grahn, C.Y., Horodyski, R.S., & Mauller, P.M. (2012). The first recorded decline of the Malvinokaffric Devonian fauna in the Paraná Basin (southern Brazil) and its cause; taphonomic and fossil evidences. *Journal of South American Earth Sciences*, 37: 228–241. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.02.006>
- Bosetti, E.P., Horodyski, R.S., Matsumura, W.M.K., Myszynski-Junior, L.J., & Sedorko, D. (2013). Análise estratigráfica e tafonômica da sequência Neopraguiana - Eoemsiana do setor nordeste do sítio urbano de Ponta Grossa, Paraná, Brasil. *Terr@ Plural*, 7: 145-168.
- Bosetti, E.P., Netto, R.G., Tognoli, F.M.W., Sedorko, D., & Matsumura, W.M.K. (2021). Continental input on shelfal deposits unveiled by integration of ichnology, sedimentology, and taphonomy: A case study in Givetian beds of the Paraná basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 110: 1-12.
- Boucot, A.J. (1971). Malvinokaffric Devonian Marine Community Distribution and Implications for Gondwana. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43: 23- 49.
- Bromley, R.G. (1996). *Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications*. Londres: Chapman and Hall.
- Gaugris, K.A., & Grahn, C.Y. (2006). New chitinozoan species from the Devonian of the Paraná basin, South Brazil, and their biostratigraphic significance. *Ameghiniana*, 43(2): 293-310.
- Grahn, Y., & Bosetti, E.P. (2010). Storm deposited pebble and cobble-sized particles in the early Emsian of the Ponta Grossa Formation, Paraná Basin (State of Paraná, Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, 40: 236-241.
- Grahn, C.Y., Mauller, P.M., Bergamaschi, S., & Bosetti, E.P. (2013). Palynology and sequence stratigraphy of three Devonian rock units in the Apucarana Sub-basin (Paraná Basin, south Brazil): additional data and correlation. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 198: 27-44. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2011.10.006>
- Henrique-Pinto, R., Basei, M.A.S., Santos, P.R., Saad, A.R.,, & Frugis, G.L. (2021). 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*, 111: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103511>
- Horodyski, R.S., Holz, M., Grahn, C.Y., & Bosetti, E.P. (2014). Remarks on sequence stratigraphy and taphonomy of the Malvinokaffric shelly fauna during the Kačák Event in the Paraná Basin (Brazil). *Int. J. Earth Sci*, 103: 367–380. <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0954-9>
- Horodyski, R.S., Brett, C.E., Sedorko, D., Bosetti, E.P.,, & Iannuzzi, R., (2019). Storm-related taphofacies and paleoenvironments of malvinokaffric assemblages from the lower/middle devonian in southwestern Gondwana. *Palaeogeography, palaeoclimatology. Palaeoecology*, 514: 706–722. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.10.001>

- House, M.R. (2002). Strength, timing, setting and cause of mid-Palaeozoic extinctions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 181: 5-26.
- Kurovski, I.P. (2023). *Paleocomunidades e Paleoambientes do Devoniano da Bacia do Paraná, Brasil*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território. Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR, Brasil. Recuperado de <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/4030>
- Melo, J.H.G. (1985). *A Província Malvinocáfrica no Devoniano do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Paleontologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Mendlowicz Mauller, P., Grahn, Y., & Machado Cardoso, T.R. (2009). Palynostratigraphy from the Lower Devonian of the Paraná Basin, south Brazil, and a revision of contemporary chitinozoan biozones from western Gondwana. *Stratigraphy*, 6: 313-332.
- Milani, E.J., & Ramos, V.A. (1998). Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 28: 527-544.
- Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A., & França, A.B. (2007). Bacia do Paraná. *Bol. Geociências Petrobras*, 15: 265-287.
- Reineck H.E. (1963). Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsee. *Abhandlungen der senckenbergische naturforschende Gesellschaft* 505: 1-138.
- Richter, R. (1941). Devon. Geologische jahresberichte. *Berlin*, 3A, 31-43.
- Richter, K.W., Bosetti, E.P., & Sedorko, D. (2021). Ichnological Research of Silurian-Devonian Strata and the Zoophycos Distribution in the Paraná Basin. *Terr@Plural*, 15: e2118495.
- Richter, K.W., Bosetti, E.P., Tavares, I.S., & Sedorko, D. (2023). Trace fossils from Furnas formation (Paraná Basin) reveal a marine depositional environment. *Journal Of South American Earth Sciences*, 10: 104475-X.
- Richter, M., Bosetti, E.P., & Horodyski, R.S. (2017). Early Devonian (Late Emsian) shark fin remains (Chondrichthyes) from the Paraná Basin, southern Brazil. *Anais An. Acad. Bras. Ciênc.*, 89: 103-118.
- Rocha, L.R., Souza, E.S., Ribeiro, H.J.P.S., Franco, D.M.M., ..., & Cruz, G.F. (2023). Detection of Early-Middle Devonian biotic crises in East Gondwana, Paraná Basin, Brazil: an organic geochemical approach. *Organic Geochemistry*, 18: 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2023.10462>
- Rodrigues, R.C., Simões, M.G., & Leme, J.M. (2003). Tafonomia comparada dos conulatae (Cnidaria), Formação Ponta Grossa (Devoniano), Bacia do Paraná, estado do Paraná. *Rev. Bras. Geociências*, 3: 381-390.
- Sedorko, D., Netto, R.G., Savrda, C.E., Assine, M.L., & Tognoli, F.W.M. (2017). Chronostratigraphy and environment of Furnas Formation by trace fossil analysis: Calibrating the lower Paleozoic Gondwana realm in the Paraná Basin (Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 48: 307-320, <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.09.016>
- Sedorko, D., Bosetti, E.P., & Netto, R.G. (2018a). An integrative ichnological and taphonomic approach in a transgressive-regressive cycle: a case study from Devonian of Paraná Basin, Brazil. *Lethaia*, 51: 15-34. <https://doi.org/10.1111/let.12219>
- Sedorko, D., Netto, R.G., & Horodyski, R.S. (2018b). A Zoophycos carnival in Devonian beds: Paleocological, paleobiological, sedimentological, and paleobiogeographic insights. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 507: 188-200. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.07.016>
- Sedorko, D., Netto, R.G., & Horodyski, R.S. (2019). Tracking Silurian-Devonian events and paleobathymetric curves by ichnologic and taphonomic analyzes in the southwestern Gondwana. *Global and Planetary Change*, 179: 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.05.007>
- Sedorko, D., Netto, R.G., Scheffler, S.M., Horodyski, R.S., ... & Myzyski-Junior, L. (2021). Paleocologic trends of Devonian Malvinokaffric fauna from the Paraná Basin as evidenced by trace fossils. *J. S. Am. Earth Sci*, 109: 103200. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103200>
- Sedorko, D., Netto, R.G., Martín, J.V., Dasgupta, S., ..., & Borghi, L. (2022). Golssifungites suites and tubular tempestites in Devonian shallow-marine deposits from Paraná Basin. *The Geological Society of London*, 522: 77-95.

Tavares, I.S. (2022). *Vermes tubícolas: revisão taxonômica, distribuição geográfica e estratigráfica no Devoniano da Bacia do Paraná, Brasil*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território. Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR, Brasil. Recuperado de <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3696>

Zabini, C., Bosetti, E.P., & Holz, M. (2010). Taphonomy and taphofacies analysis of lingulid brachiopods from Devonian sequences of the Paraná Basin. Brazil. *Palaeoclimatology, Palaeoecology, Palaeogeography*, 292: 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.03.025>

Recebido em 04/12/2023

Versão corrigida recebida em 10/jan./2024

Aceito em 16/jan./2024

Publicado em 20/jan./2024