

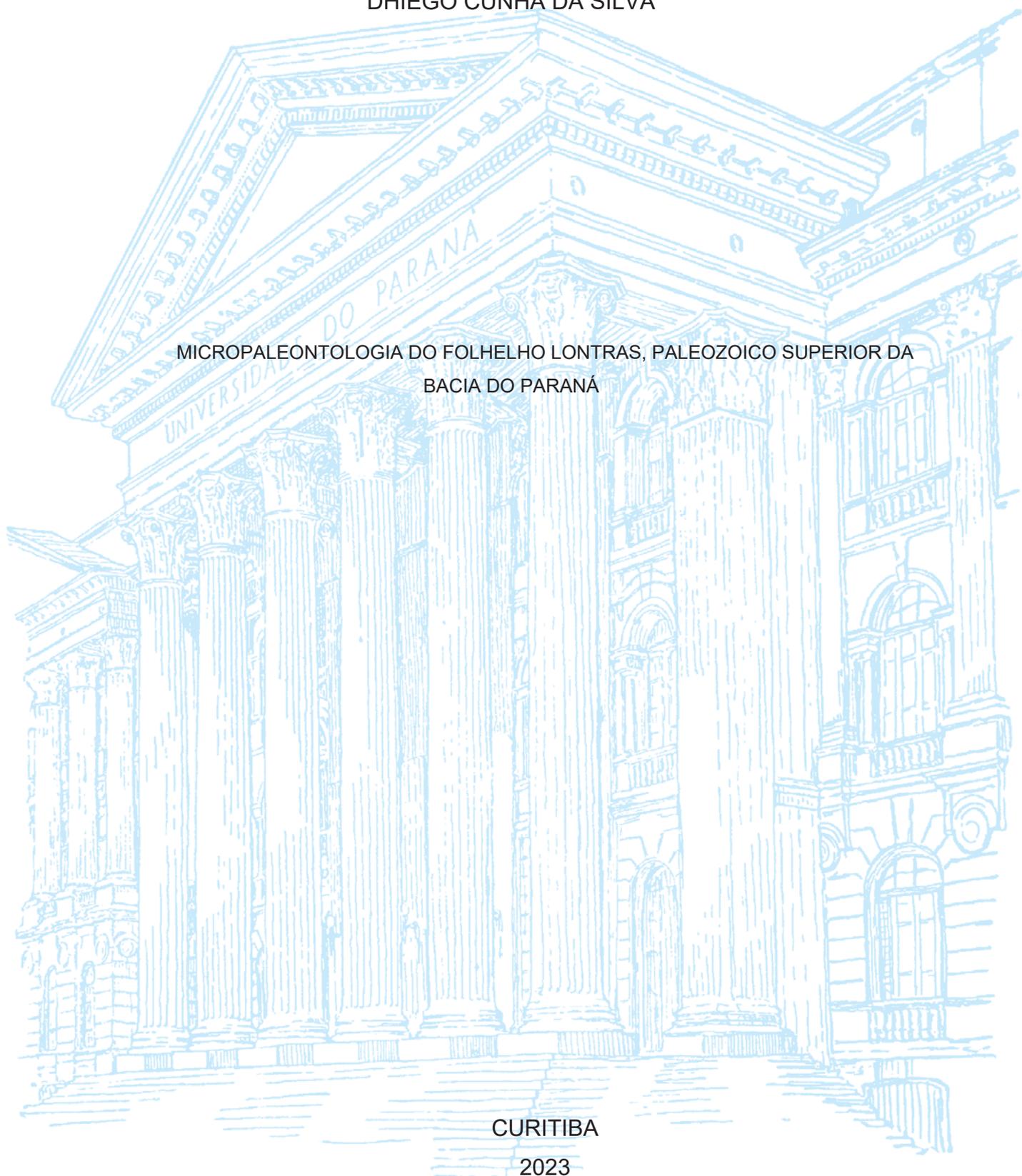
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DHIEGO CUNHA DA SILVA

MICROPALEONTOLOGIA DO FOLHELHO LONTRAS, PALEOZOICO SUPERIOR DA  
BACIA DO PARANÁ

CURITIBA

2023



DHIEGO CUNHA DA SILVA

MICROPALAEONTOLOGIA DO FOLHELHO LONTRAS, PALEOZOICO SUPERIOR DA  
BACIA DO PARANÁ

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geologia.

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina Silveira Vega

Co-orientador(a): Dr.<sup>a</sup> Danielle Cristine Buzatto Schemiko

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Silva, Dhiego Cunha da  
Micropaleontologia do Folhelho Lontras, paleozoico superior da Bacia  
do Paraná / Dhiego Cunha da Silva. – Curitiba, 2023.  
1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências  
da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia.

Orientador: Cristina Silveira Vega  
Coorientador: Danielle Cristine Buzatto Schemiko

1. Foraminífero – Paraná, Bacia do (PR). 2. Grupo Itararé. 3. Fósseis. 4.  
Fitoclastos. 5. Glaciação. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de  
Pós-Graduação em Geologia. III. Vega, Cristina Silveira. IV. Schemiko,  
Danielle Cristine Buzatto. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GEOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **DHIEGO CUNHA DA SILVA** intitulada: **MICROPALEONTOLOGIA DO FOLHELHO LONTRAS, PALEOZOICO SUPERIOR DA BACIA DO PARANÁ**, sob orientação da Profa. Dra. CRISTINA SILVEIRA VEGA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 11 de Agosto de 2023.

Assinatura Eletrônica  
18/08/2023 16:16:45.0  
CRISTINA SILVEIRA VEGA  
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica  
15/08/2023 09:29:19.0  
LUIZ CARLOS WEINSCHÜTZ  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO CONTESTADO)

Assinatura Eletrônica  
14/08/2023 14:30:13.0  
GUILHERME KRAHL  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS)

Assinatura Eletrônica  
14/08/2023 11:15:26.0  
FERNANDO FARIAS VESELY  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica  
14/08/2023 10:42:45.0  
CHRISTIANO NG  
Avaliador Externo (PETRÓLEO S.A.)

Dedico esta tese aos meus pais, Celso Soares da Silva e Zuleide Cunha da Silva, que sempre me apoiaram e incentivaram nos meus estudos e na minha vida. Sem eles, nada disso seria possível. Agradeço pelo amor, pela paciência, pela confiança e pelo exemplo que me deram. Vocês são a minha inspiração e a minha motivação para seguir em frente e buscar os meus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar a minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização desta tese. Em primeiro lugar, à Jenny, minha companheira da vida, que me acompanhou em todos os momentos, me apoiou, me compreendeu e me deu força para seguir em frente. À Cris, que me deu a oportunidade de me tornar paleontólogo e me orientou com sabedoria, dedicação e generosidade. A toda a equipe do LABPALEO, pelo acolhimento, pela amizade, pela ajuda e pelo aprendizado, em especial a Dani, a Gi, à Gaby, ao Robson, ao Malton e à Fran. Aos professores do Departamento de Geologia, pela paciência em ensinar alguém que não é geólogo e pelo conhecimento compartilhado. A todos os amigos que fiz no caminho, que tornaram essa jornada mais leve e divertida. A todos vocês, o meu muito obrigado.

**“Nobody exists on purpose. Nobody belongs anywhere. We're all going to die. Come watch TV.” – Ricky Sanchez**

## RESUMO

O Folhelho Lontras é uma unidade sedimentar do Grupo Itararé, da Bacia do Paraná, que registra eventos glaciais e transgressões marinhas do Paleozoico Superior. Esta unidade é considerada uma *Konservat-Lagerstätte*, que preserva uma notável diversidade de fósseis de forma excepcional. O objetivo desta Tese de Doutorado foi refinar o paleoambiente do Folhelho Lontras na cidade de Mafra (SC) e utilizar essa localidade como área-tipo para comparar com folhelhos de outras localidades, como Alfredo Wagner e Doutor Pedrinho, também em SC, utilizando microfósseis e fitoclastos como *proxies*. Para isso, foram realizadas análises micropaleontológicas, sedimentológicas e estratigráficas dos afloramentos, utilizando perfis verticais compostos com as fácies descritas em campo. Os resultados mostraram que o Folhelho Lontras apresenta uma variação espacial e taxonômica dos bioclastos, que pode estar relacionada aos diferentes eventos glaciais e transgressões marinhas que ocorreram durante o Paleozoico Superior na Bacia do Paraná. Os microfósseis descritos neste trabalho incluem foraminíferos bentônicos, como *Saccamina* sp., *Psammosphaera irregularis* e *Ammobaculites* sp. Além disso, também foram descritos fitoclastos com diversos níveis de preservação, que sugerem uma deposição sob um ambiente proximal. Por fim, esta pesquisa demonstra que a alta concentração de bioclastos nas camadas do Folhelho Lontras de Mafra indica uma variação no suprimento de nutrientes ou na temperatura durante a deposição do folhelho nesta região. A interpretação dos dados de microbiota do Folhelho Lontras demonstra que este depósito se destaca como um marcador estratigráfico regional, que permite a correlação entre os afloramentos das três regiões estudadas. Neste sentido, a aplicação da micropaleontologia auxiliou na identificação da continuidade lateral do Folhelho Lontras ao longo da Bacia do Paraná, sugerindo que o mesmo ocorre como o último folhelho negro proeminente antes da progradação deltaica da Formação Rio Bonito. Espera-se que os dados obtidos contribuam para o avanço do conhecimento científico sobre o Folhelho Lontras e sua importância paleontológica e geológica, bem como para o entendimento dos processos e condições que afetam a preservação dos fósseis nessa unidade.

Palavras-chave: Foraminífero; Grupo Itararé; glaciação; microfósseis; fitoclastos.

## ABSTRACT

The Lontras Shale is a sedimentary unit of the Itararé Group, Paraná Basin, that records glacial events and marine transgressions of the Upper Paleozoic. This unit is considered a Konservat-Lagerstätte, that preserves a remarkable diversity of fossils in an exceptional way. The objective of this doctoral thesis was to refine the paleoenvironment of the Lontras Shale in the city of Mafra (SC) and to use this locality as a type-area to compare with shales from other localities, such as Alfredo Wagner and Doutor Pedrinho, also in SC, using microfossils and phytoclasts as *proxies*. To this, micropaleontological, sedimentological and stratigraphic analyses of the outcrops were carried out, using vertical and composite profiles with the facies described in the field. The results showed that the Lontras Shale presents a spatial and taxonomic variation of the bioclasts, that may be related to the different glacial events and marine transgressions that occurred during the Upper Paleozoic in the Paraná Basin. The microfossils described in this work include benthic foraminifera, such as *Saccamina* sp., *Psammosphaera irregularis* and *Ammobaculites* sp. In addition, phytoclasts with different levels of preservation were also described, suggesting a deposition under a proximal environment. Finally, this research demonstrates that the high concentration of bioclasts in the layers of the Lontras Shale in Mafra indicates a variation in nutrient supply or temperature during the deposition of the shale in this region. The interpretation of the microbiota data of the Lontras Shale demonstrates that this deposit stands out as a regional stratigraphic marker, that allows the correlation between the outcrops of the three studied regions. In this sense, the application of micropaleontology helped in identifying the lateral continuity of the Lontras Shale along the Paraná Basin, suggesting that it occurs as the last prominent black shale before the deltaic progradation of the Rio Bonito Formation. It is expected that the data obtained will contribute to the advancement of scientific knowledge about the Lontras Shale and its paleontological and geological importance, as well as to understanding the processes and conditions that affect fossil preservation in this unit.

Keywords: Foraminifera; Itararé Group; glaciation; microfossil; phytoclasts.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Subdivisões do Grupo Itararé, adaptado de Schneider et al. (1974).<br>Espessura das formações retirada de Buso et al. (2020). .....          | 16 |
| Figura 2 - Área de estudo. Destaque para Mafra, Dr. Pedrinho e Alfredo<br>Wagner onde as amostras da pesquisa foram coletadas. ....                    | 29 |
| Figura 3 - Exemplo de método de coleta de amostras. A – Alfredo Wagner,<br>duas amostras coletadas. B – Doutor Pedrinho, uma amostra<br>coletada. .... | 30 |

## LISTA DE TABELAS

|               |    |
|---------------|----|
| Tabela 1..... | 36 |
| Tabela 2..... | 56 |

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

TSD2 - Trato Sistema de Degelo

MEV - Microscopia eletrônica de varredura

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>15</b> |
| 1.1 MICROPALAEONTOLOGIA DO GRUPO ITARARÉ .....  | 17        |
| 1.1.1 Conodontes .....  | 18        |
| 1.1.2 Escolecodontes .....  | 18        |
| 1.1.3 Espículas de esponjas.....  | 18        |
| 1.1.4 Foraminíferos .....   | 18        |
| 1.1.5 Ostracodes .....  | 19        |
| 1.2 PALINOMORFOS .....  | 20        |
| 1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO DA UNIDADE ESTUDADA .....  | 21        |
| 1.4 FOLHELHO LONTRAS .....  | 25        |
| 1.4.1 Paleontologia do Folhelho Lontras .....   | 26        |
| 1.5 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESES - .....   | 27        |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....  | <b>28</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....  | 28        |
| 2.1.1 Objetivos específicos .....   | 28        |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | <b>28</b> |
| <b>4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....  | <b>30</b> |
| <b>ARTIGO 1 – PALEOENVIRONMENTAL VARIATIONS INDICATED BY<br/>MICROFOSSILS IN THE UPPER PALEOZOIC KONSERVAT-LAGERSTÄTTE<br/>OF THE PARANÁ BASIN, SANTA CATARINA, BRAZIL (NO PRELO)</b> .....         | <b>31</b> |
| <b>5 ARTIGO 2 – MICROPALAEONTOLOGIA APLICADA AO<br/>RECONHECIMENTO DO FOLHELHO LONTRAS, NAS REGIÕES DE<br/>MAFRA, DOUTOR PEDRINHO E ALFREDO WAGNER EM SANTA<br/>CATARINA, BACIA DO PARANÁ</b> ..... | <b>50</b> |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....   | <b>68</b> |
| 6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....  | 69        |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | <b>69</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A micropaleontologia tem diversas aplicações nas ciências geológicas, tais como estudos bioestratigráficos, paleoclimáticos e paleoceanográficos, reconstruções paleoambientais, exploração de hidrocarbonetos, entre outros (ARMSTRONG & BRASIER 2005). Os microfósseis permitem datar e correlacionar as rochas sedimentares com base em sua distribuição temporal e espacial. Eles também fornecem informações sobre as condições ambientais e climáticas que prevaleceram durante a deposição das rochas. Além disso, eles podem revelar as mudanças nos padrões de circulação oceânica e na química dos oceanos ao longo do tempo. Por fim, eles podem auxiliar na identificação de bacias sedimentares potencialmente geradoras e acumuladoras de petróleo e gás.

Estudos micropaleontológicos podem ser realizados em qualquer bacia sedimentar. Neste trabalho, será abordada a aplicação da micropaleontologia no estudo das rochas formadas sob um contexto de influência glacial no Paleozoico Superior da Bacia do Paraná, focado no Folhelho Lontras no Grupo Itararé. Neste caso, os microfósseis possibilitam obter novas informações sobre a bioestratigrafia, os paleoambientes.

A Bacia do Paraná é uma extensa bacia sedimentar que ocupa a parte centro-leste do continente sul-americano. Ela abrange seis sequências deposicionais separadas por discordâncias regionais (MILANI 1997). A porção superior do Paleozoico dessa bacia é a mais espessa e compreende unidades estratigráficas depositadas em ambientes marinhos a continentais, onde se destaca o Grupo Itararé (CASTRO 1991; D'ÁVILA 2009). Esse grupo representa o registro de uma grande glaciação gondwânica (FRANÇA & POTTER 1988; VESELY & ASSINE 2006; BUSO et al. 2017, 2020). Ele é composto por depósitos predominantemente marinhos, com mais de 1300 m de espessura, e foi subdividido por Schneider et al. (1974), em ordem estratigráfica, nas formações Campo do Tenente, Maфра e Rio do Sul (Figura 1) (nomenclatura usada neste trabalho), que correspondem às formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba, na revisão de França & Potter (1988) e Milani et al. (2007).

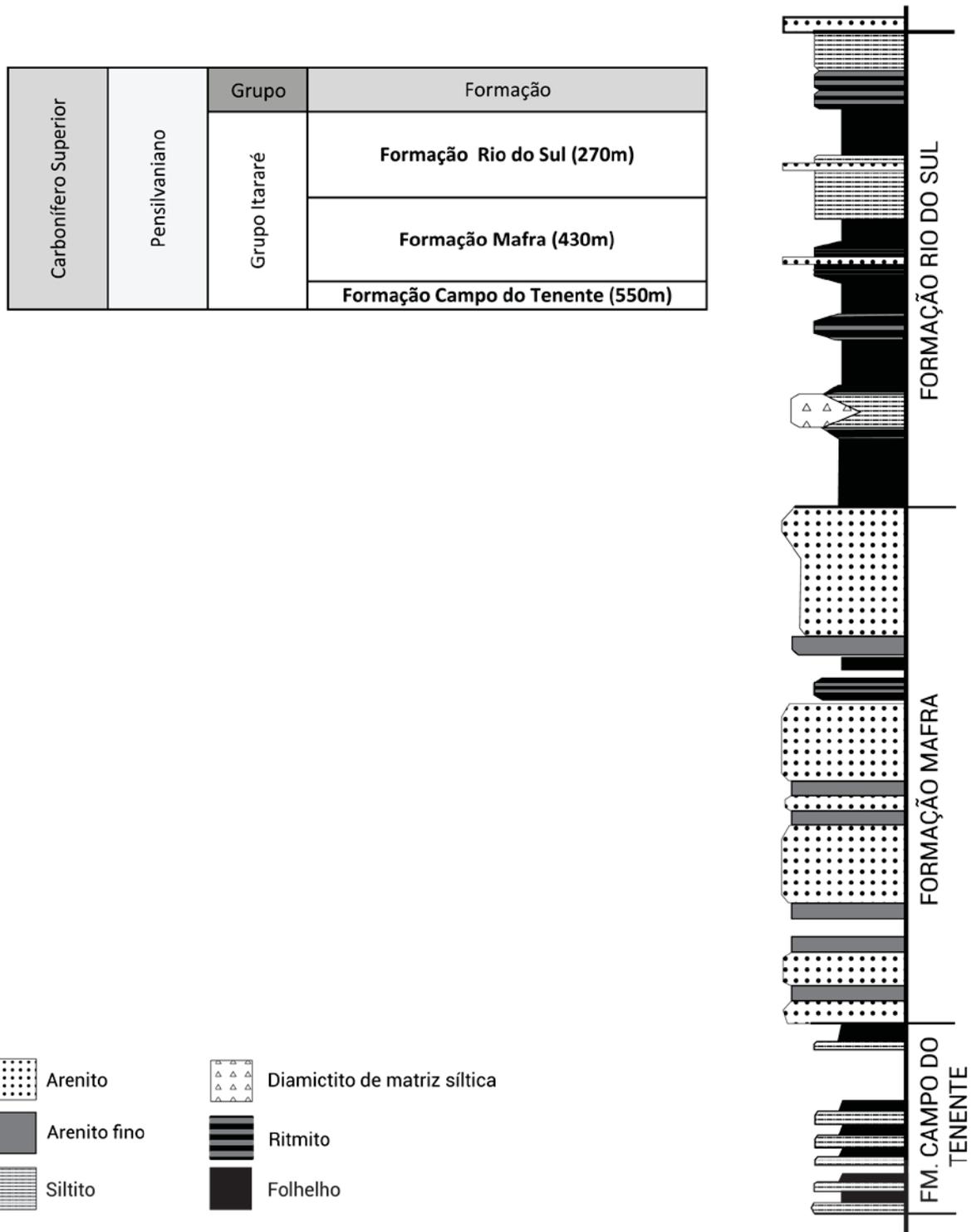


Figura 1. Subdivisões do Grupo Itararé, adaptado de Schneider et al. (1974). Espessura das formações retirada de Buso et al. (2020).

## 1.1 MICROPALAEONTOLOGIA DO GRUPO ITARARÉ

O Grupo Itararé teve seus estudos sobre micropaleontologia realizados principalmente com intuito bioestratigráfico. Porém, poucas informações foram publicadas, principalmente quando envolviam microfósseis de parede não orgânica. Os principais meios de biozoneamento foram consolidados através de estudos de palinomorfos, macrofitofósseis e macroinvertebrados (LANGE 1952, 1954; ROCHA-CAMPOS 1970; ROCHA-CAMPOS & RÖSLER, 1978; RÖSLER 1978; IANNUZZI & SOUZA 2005; HOLZ et al. 2010; PAULIPETRO 1981, 1982; SIMÕES et al. 2012; NEVES et al. 2014 e TABOADA et al. 2016).

Dos poucos trabalhos sobre micropaleontologia para o Grupo Itararé, utilizando microfósseis de parede não mineralizada, elencam-se as pesquisas de Lima et al. (1976), que avaliaram os estratos do Grupo Itararé aflorantes no Estado de São Paulo, e Campanha et al. (1989), que balizaram suas análises em testemunhos e calhas obtidos pela PAULIPETRO (1981-1982), nos poços Piratininga 1-PA-1-SP; Lagoa Azul 2-LA-1-SP. Esses estudos relatam a ocorrência de ostracodes e foraminíferos para os estratos do Grupo Itararé de São Paulo.

Uma das primeiras tentativas de elaboração de um zoneamento bioestratigráfico do Grupo Itararé com base em microfósseis de parede não orgânica foi apresentada em PAULIPETRO (1981). O estudo foi realizado a partir de análises micropaleontológicas do Poço Piratininga (1-PA-1-SP), onde foi delimitada a Zona de Associação D, composta por fósseis de peixes (*Paleoniscus* sp. e escamas de *Holmesella?* sp.), ostracodes (*Bythocypris?* sp., *Healdia?* sp., *Cavellina?* sp.), além de foraminíferos (*Rhabdammina?* sp., *Earlandia* sp.), estes últimos presentes na transição entre o Grupo Itararé e a Formação Tatuí, correlata à Formação Rio Bonito.

Entre os microfósseis de parede não orgânica descritas para o Grupo Itararé, destaca-se a presença de:

### 1.1.1 Conodontes

Os elementos conodontes são estruturas bucais de vertebrados ancestrais, denominados conodontes (PURNELL et al. 1995). Eles habitavam exclusivamente ambientes marinhos e são amplamente utilizados para a bioestratigrafia do Paleozoico, pois apresentam uma diversidade morfológica e uma distribuição global ampla (SWEET 1988). Scmazzon et al., (2013) e Wilner et al. (2016) reportaram a ocorrência de conodontes do gênero *Mesogondolella*, característico do Cisuraliano, no Folhelho Lontras, parte superior do Grupo Itararé, Formação Rio do Sul, em Mafra, SC.

### 1.1.2 Escolecodontes

Fósseis de escolecodontes foram encontrados por Ricetti & Weinschütz (2011) no Grupo Itararé, na parte média da Formação Mafra e na seção inferior da Formação Rio do Sul. Estes fósseis correspondem a estruturas bucais de vermes poliquetas da Ordem Eunicida, anelídeos marinhos com ampla ocorrência estratigráfica e geográfica. Os autores sugerem que os fósseis podem ser atribuídos ao gênero *Paulinites*, e possivelmente às espécies *Paulinites paranaensis* e *Paulinites polonensis*. No entanto, a preservação precária das amostras impede conclusões mais precisas. Além disso, estas espécies foram formalmente descritas apenas para o Devoniano Ricetti & Weinschütz (2011).

### 1.1.3 Espículas de esponjas

A partir de espículas de esponjas, Mouro et al. (2014) identificaram a Ordem Desmospongiae no Folhelho Lontras, na base da Formação Rio do Sul, no Folhelho Lontras. Estes organismos vivem em águas marinhas com boa circulação e oxigenação. Mouro et al. (2014) também descreveram uma esponja da Ordem Hemidiscosa (*Microhemidiscia greinerti*) na mesma formação. No entanto, esta ordem tem uma ampla distribuição temporal reconhecida do Pensilvaniano ao final do Cretáceo, não sendo tão relevante para a bioestratigrafia.

### 1.1.4 Foraminíferos

PAULIPETRO (1981), ao analisar micropaleontologicamente o Poço Piratininga (1-PA-1-SP), delimitou a Zona de Associação D, que continha, além de ostracodes e fragmentos de peixes, também havia a presença de foraminíferos (*Rhabdammina?* sp., *Earlandia* sp.). Estes últimos estavam presentes na transição entre o Grupo Itararé e a Formação Tatuí, correlata à Formação Rio Bonito. Contudo, segundo PAULIPETRO (1981), esses foraminíferos ocorriam até a Formação Estrada Nova (Permiano Superior). Adicionalmente, foi colocada em dúvida a ocorrência de *Earlandia* sp. no intervalo Itararé-Tatuí. Com base no conteúdo micropaleontológico, a idade sugerida para a transição entre os grupos Itararé e Guatá seria Artinskiano-Kunguriano, e o paleoambiente seria, respectivamente, majoritariamente marinho com influência continental.

Além dos estudos feitos apenas no Estado de São Paulo, existem citações de foraminíferos aglutinantes para o Estado de Santa Catarina, por Souza et al. (2001). Estes autores encontraram foraminíferos aglutinantes das espécies *Ammodiscus semiconstrictus* e *Brunsiella ammodiscoidea* na Formação Mafra. Estas duas espécies já haviam sido relatadas por Lima et al. (1976) em São Paulo. Por fim, também há registros de foraminíferos para o Folhelho Lontras; Pigão & Mouro (2019) evidenciaram um possível espécime descrito em lâmina, mas não houve descrição taxonômica do espécime.

Sendo assim, além de serem escassos, estes trabalhos sobre foraminíferos não apresentavam ilustrações ou mencionavam o estado de conservação dos espécimes.

Nesta pesquisa, foi analisada a primeira ocorrência de espécimes de *Saccamina* sp., *Ammobaculites* sp. e *Psammosphaera irregularis* no Folhelho Lontras, descritos de forma detalhada na sessão de Resultados desta tese.

#### 1.1.5 Ostracodes

Os ostracodes são artrópodes microcrustáceos, em sua maioria bentônicos, e habitam diferentes ambientes, principalmente aquáticos, mas também há espécies terrestres em locais úmidos (RUPERT & BARNES 1996). Eles apresentam oito ou nove estágios de crescimento, nos quais perdem suas carapaças para a substituição de uma nova (ARMSTRONG & BRASIER 2005),

o que favorece seu amplo registro. Suas carapaças podem indicar os níveis de energia do paleoambiente pela relação entre conjuntos fossilíferos autóctones e alóctones (WHATLEY 1983). Os ostracodes são um dos poucos grupos que permitem separar os indivíduos autóctones e alóctones devido à sua longa ontogenia (WHATLEY 1983). PAULIPETRO (1981) registrou a ocorrência dos gêneros de ostracodes *Baslerrela* sp., *Cavellina?* sp., *Bairdia* sp. cf. *B. glennensis*, *Carbonatita?* sp. que sugeriu um intervalo do Stephaniano ao Kazaniano. Também relataram *Healdia?* sp. e *Bairdia?* sp. que ocorreu do Mississippiano ao Kazaniano. Além de *Macrocypris?* sp. e *Bythocypris?* sp. que datou do Siluriano ao Triássico, e por fim *Haworthina?* sp., que deu suporte bioestratigráfico do Kunguriano ao Kazaniano, nos estratos do Grupo Itararé. Além disso, Lima et al. (1976) também mencionaram a presença de ostracodes nesses estratos no Estado de São Paulo. Kallen et al. (2014) relatou a ocorrência de ostracodes mesohalinos para o Folhelho Lontras.

## 1.2 Palinomorfos

A Paleopalinologia tem como uma das aplicações básicas a bioestratigrafia. Os palinomorfos permitem a correlação entre depósitos de origem marinha e terrestre (SOUZA & MARQUES-TOIGO 2005). Segundo Souza & Marques-Toigo (2003), Iannuzzi & Souza (2005) e Souza (2006), a Palinologia é uma ferramenta muito eficiente para o fornecimento de uma bioestratigrafia detalhada para a Bacia do Paraná, pois as assembleias de palinomorfos são diversificadas, abundantes e muito difundidas principalmente no Permiano desta bacia.

Daemon & Quadros (1970) fizeram um amplo trabalho de bioestratigrafia com palinomorfos na Bacia do Paraná, utilizando amostras de poços e de afloramentos, e, como resultado, dividiram o Paleozoico Superior desta bacia em seis intervalos bioestratigráficos (G até L) e oito subintervalos. Com relação ao paleoambiente, os autores consideram que do intervalo G ao subintervalo H1, havia um ambiente continental, enquanto que do H2 ao I, o ambiente era marinho. A partir do intervalo J, formam-se extensas florestas, e o clima torna-se mais ameno. No intervalo K o clima torna-se mais quente e seco, ocorrendo algumas áreas úmidas, representadas por manguezais.

PAULIPETRO (1981) encontrou as zonas palinológicas de Daemon & Quadros (1970) em um poço perfurado no estado de São Paulo. Os autores consideraram que os intervalos bioestratigráficos G até I4 correspondem a sedimentos do Grupo Itararé, cujo paleoambiente seria marinho com influência continental. Posteriormente PAULIPETRO (1982) fez uma análise bioestratigráfica do Paleozoico da Bacia do Paraná, incluindo biozonas baseadas em palinórfos. Todos estes fósseis foram coletados em um único poço perfurado em São Paulo. Os autores utilizam a mesma denominação e idades dos intervalos de Daemon & Quadros (1970). Os subintervalos I2 a I4 representam a porção superior do Grupo Itararé, os intervalos K e L1 referem-se ao Grupo Guatá e os subintervalos L2 e acima correspondem a sedimentos do Grupo Passa Dois. Com base nos fragmentos lenhosos e na análise de matéria orgânica do Grupo Itararé, os autores consideraram que no início da deposição este grupo apresentava um ambiente glacio-marinho a transicional, evoluindo para um paleoambiente fluvio-glacial.

Mais recentemente, Souza & Marques-Toigo (2003) dividiram o Paleozoico Superior da Bacia do Paraná em quatro palinozonas: *Ahrensiporites cristatus*, *Crucisaccites monoletus*, *Vittatina costabilis* e *Lueckisporites virkkiae*. Em trabalhos mais específicos, Souza (2006) e Souza & Marques-Toigo (2005) estudaram o Carbonífero e o Permiano, respectivamente. Souza (2006) dividiu o Carbonífero da Bacia do Paraná em duas Zonas de Intervalo: *Ahrensiporites cristatus* e *Crucisaccites monoletus*, com base em palinórfos coletados tanto em poços quanto em afloramentos.

Souza & Marques-Toigo (2005) dividiram os estratos permianos da Bacia do Paraná em duas palinozonas: *Vittatina costabilis* (Asseliano-Sakmario) e *Lueckisporites virkkiae* (Artinskiano-Guadalupiano), com base em material coletado em poços no Rio Grande do Sul. Trabalhos mais recentes (e.g. BUSO et al. 2017; 2020; MOTTIN et al. 2018 e SOUZA et al. 2021) citam a Subzona *Protohaploxypinus goraiensis* relacionando-a a sequências deglaciais associadas a um ambiente marinho.

### 1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO DA UNIDADE ESTUDADA

Os estratos gondwânicos brasileiros têm sido frequentemente estudados, principalmente devido à presença de hidrocarbonetos, tanto óleo quanto gás (ARAB et al. 2009). Dentre os diversos trabalhos, destaca-se a pesquisa de Schneider et al. (1974). Neste estudo, os autores subdividem o Grupo Itararé em 4 formações, da base para o topo, denominadas Formação Campo do Tenente, Formação Mafra, Formação Rio do Sul e Formação Aquidauana, sendo que esta última ocorre apenas nos estados de Mato Grosso, Goiás e nordeste de São Paulo.

Schneider et al. (1974) descreveram que a Formação Campo do Tenente tem uma espessura de cerca de 200m em sua área tipo, abrangendo da cidade de São Bento do Sul (SC) até o Arco de Ponta Grossa (PR). Seus litotipos são caracterizados por argilitos castanho-avermelhados, com laminação plano-paralela. Também são reconhecidos ritmitos e diamictitos de matriz arenosa. Em algumas localidades são observados arenitos amarelados, finos e médios, mal selecionados e com estratificação planoparalela, cruzada e acanalada. Além disso, estrias glaciais também são relatadas nessa formação.

A Formação Mafra é composta principalmente por arenitos esbranquiçados, amarelados e vermelhos de granulação variada, podendo ocorrer arenitos finos, bem selecionados com laminação ondulada e estratificação planoparalela. Há também arenitos médios e grossos com estratificação cruzada acanalada, seccionadas com feições de cortes e preenchimento. Foram identificados diamictitos, conglomerados, ritmitos, argilitos e argilitos várvidos. Sua seção tipo localiza-se no município de Presidente Prudente (SP), e possui aproximadamente 350 metros de espessura. Estima-se que o contato com a Formação Campo do Tenente seja discordante, também há localidades onde o contato é encontrado sob as formações Furnas e Ponta Grossa (SCHNEIDER et al. 1974). Em estudos mais recentes Kraft et al. (2022), observaram cinco fases de degelo nesta formação, que indicam uma menor presença de gelo à em estratos superiores, onde possivelmente deltas se originaram por causa do clima mais ameno. Há também, a presença de diamictitos em todas as fases, que são mais frequentes nas camadas inferiores e do meio.

As rochas da Formação Rio do Sul são caracterizadas por uma porção basal de folhelhos e argilitos cinza escuros, de aspecto várvido denominados de Folhelho Lontras em Santa Catarina e Folhelho Guaraúna no Paraná. A parte superior da Formação Rio do Sul é constituída de arenitos finos e diamictitos, folhelhos várvidos, ritmitos e argilitos. Em sua área tipo, a Formação Rio do Sul atinge até 350 m de espessura, diminuindo gradativamente em direção ao norte. O contato inferior com a Formação Mafra é concordante, sendo que na porção sudeste de Santa Catarina o sedimento é encontrado sobre o embasamento. O contato superior com a Formação Rio Bonito é concordante, exceto a nordeste do Paraná e São Paulo.

Outro trabalho de grande importância para compreensão dos processos deposicionais do Grupo Itararé foi a pesquisa de França & Potter (1988). Os autores se utilizaram de correlações de perfis de poços profundos, para sugerir que o Grupo Itararé fosse subdividido em 3 diferentes formações: Formação Lagoa Azul, Formação Campo Mourão e Formação Taciba, da base para o topo.

A Formação Lagoa Azul compõe a base do Grupo Itararé e é composta por arenitos acinzentados, siltitos e lamitos seixosos. Esta formação comumente sobrepõe estratos do Grupo Paraná e em algumas localidades encontra-se sob o embasamento. Os autores ainda elencam que sua espessura máxima é de até 560 metros. Esta formação foi dividida em 2 membros, na base denominado Cuiabá Paulista (arenitos, siltito e raramente lamitos seixosos) e no topo Tarabaí (diamictitos, folhelhos e arenitos).

Para a Formação Campo Mourão, os autores a descrevem como uma unidade predominantemente arenosa, mas que contém também folhelho, siltito e lamitos seixosos com espessura máxima de até 927m. A formação assenta-se sob o Estado do Rio Grande do Sul e Sudeste de Santa Catarina, e nos estados de Goiás, Mato Grosso e na maioria de Santa Catarina se sobrepõem ao Grupo Paraná. Nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, se assenta sob a Formação Lagoa Azul. Os autores ainda elencam que os arenitos desta formação são compostos por granulações grossas e médias, com presença de feldspato e fragmentos de rochas. Também há relatos de clastos de folhelhos, conglomerados com clastos acinzentados e matações. Os siltitos são acinzentados e podem conter seixos de granitos.

No contexto da Formação Campo Mourão, França e Potter (1988) sugerem que o Folhelho Lontras, descrito por Schneider et al. (1974) tivesse a categoria alterada para Membro da Formação Campo Mourão, saindo da base da Formação Rio do Sul. A Formação Taciba é composta por lamitos seixosos, arenito, folhelho e siltito com espessura máxima descrita de 420m. A sobreposição desta formação sob a Formação Campo Mourão é concordante em toda sua extensão, menos nas proximidades do Arco Sul Rio-Grandense, onde encontra-se sob o embasamento. Para França & Potter (1988) o contato superior com o Grupo Guatá é concordante em quase toda bacia, exceto na porção Nordeste do Paraná e no estado de São Paulo. Os autores dividem esta Formação nos membros Rio Segredo, Chapéu do Sol e Rio do Sul. Os litotipos dominantes do Membro Rio Segredo são arenitos cinza maciços, com granulação média a grossa, intercalados com siltitos bioturbados. Os autores também relatam a presença de arenito fino a muito fino com laminação cruzada, laminação cavalgante e micro falhas.

O Membro Chapéu do Sol foi caracterizado predominantemente por lamitos seixosos e raros corpos arenosos. Esta seção ocorre nos estados de São Paulo, e na parte oeste dos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul e partes do estado do Mato Grosso do Sul.

Sobre o Membro Rio do Sul, o mesmo foi caracterizado como composto por argilitos, folhelhos, arenitos finos, ritmitos e diamictitos. Foram identificadas feições com laminações cruzadas, laminação planoparalela, laminação convoluta e estruturas de escorregamento, além de marcas de ondas principalmente em estratos do Estado de Santa Catarina. Para este membro, os autores sugerem um ambiente deposicional marinho, a partir da interpretação do conjunto fossilífero que é composto por braquiópodes, crinoides e foraminíferos. Especificamente sobre este tópico, Silva et al. (2020) fizeram um levantamento dos fósseis registrados para o Grupo Itararé de Santa Catarina e não encontraram registro de crinoides. Por fim, outro fator que contribui para inferência deste paleoambiente foi a presença de clastos caídos nos folhelhos várvidos, que foram interpretados como *dropstones* de icebergs.

Trabalhos subsequentes aos de Schneider et al. (1974) e França & Potter (1988), também demonstram as feições da Formação Rio do Sul e inferem seu paleoambiente. Castro et al. (2000) elencam que a Formação Rio

do Sul é caracterizada por depósitos glaciais compostos por folhelhos, ritmitos, arenitos e diamictitos. Os autores relatam que os depósitos são compostos por ciclos transgressivo-regressivos que iniciam na base da formação com o Folhelho Lontras, que foram depositados em um ambiente marinho profundo. O segundo ciclo é composto por turbiditos de camadas finas, demonstrando um momento de regressão com depósitos flúvio-deltaicos. O terceiro ciclo foi descrito com feições diferentes nas porções norte e sul; no norte, foram inferidas fácies de depósitos marinhos, glacio-marinhos e deltaicos que gradam concordantemente para estratos da base do Grupo Guatá.

Em resumo, é visível que devido à sua grande extensão vertical, o Grupo Itararé preservou diversos ambientes sedimentares e que é necessário cada vez mais uma integração entre os dados geológicos e paleontológicos para uma melhor compreensão desses ambientes pretéritos.

#### 1.4 FOLHELHO LONTRAS

O Folhelho Lontras é um marcador estratigráfico da Bacia do Paraná, localizado no contato da Formação Mafra com a Formação Rio do Sul, no Grupo Itararé (SCHNEIDER et al. 1974; FRANÇA & POTTER, 1988; WEINSCHÜTZ & CASTRO, 2004), utilizado amplamente para correlações como visto nos trabalhos de Vesely & Assine, (2006); Buso et al., (2017; 2020), Schemiko et al., (2019) e Fallgater & Paim, (2019) denotando um evento de máxima inundação. Segundo Buso et al. (2017), esse intervalo corresponde ao segundo Trato de Sistema de Degelo (TSD), o qual compreende depósitos marinhos pró-glaciais e representa ciclos de degelo, resultando no aumento relativo do nível do mar. O TSD corresponde à sedimentação marinha pró glacial, oriunda de longas plumas turbidíticas e de sedimentos hemipelágicos (BUSO et al., 2017, MOURO et al. 2021). Regionalmente, nas proximidades da cidade da Mafra, onde este depósito foi amplamente estudado, o Folhelho Lontras possui, aproximadamente, 50m de espessura, compreendendo uma série de folhelhos várvidos, que se alternam com leitos de siltitos e de argilitos (WEINSCHÜTZ & CASTRO, 2005). Essa sucessão tem um afinamento textural para o topo, marcando a transgressão, ligada à deglaciação, que segue para inundação máxima da bacia (WEINSCHÜTZ & CASTRO, 2005).

Até agora, vários estudos relataram diferentes idades para o Folhelho Lontras (e.g., CAGLIARI et al., 2016; BUSO et al., 2017; GRIFFIS et al., 2018, 2019; PETRI & SOUZA, 1993; DINO & RÖSLER, 2001; SOUZA, 2006; HOLZ et al., 2010; SCOMAZZON et al., 2013; WILNER et al., 2016). No entanto, Mouro et al. (2021) resumiram as diferenças entre as idades e propuseram que, considerando as evidências mais recentes sobre dados bioestratigráficos e radiométricos, o Folhelho Lontras é de idade Pensilvaniana. Este é um tópico em constante construção que necessita de mais análises radiométricas e novas pesquisas bioestratigráficas para haver uma correlação harmoniosa entre as idades.

#### 1.4.1 Paleontologia do Folhelho Lontras

O Folhelho Lontras apresenta uma vasta diversidade de fósseis preservados de forma excepcional. Nesta seção, vamos demonstrar brevemente os principais achados referentes a vertebrados, invertebrados, plantas e icnofósseis. Todos os microfósseis exemplificados para o Folhelho Lontras foram supracitados e serão abordados novamente nos resultados dos artigos.

Os peixes actinoptérigeos são os mais comuns no folhelho, com mais de 200 espécimes em diferentes estágios ontogenéticos. Os fósseis mais frequentes pertencem a *Santosichthyes mafrensis* Malabarba, 1988, e *Roslerichthyies riomafrensis* Hamel, 2005.

Os invertebrados são principalmente representados por táxons de braquiópodes como *Langella imbituensis*, *Chonetes rionegrensis*, *Biconvexiella roxoi*, *Quinquenella?* sp., *Beecheria?* sp. e *Orbiculoidea* cf. *guaraunensis* (OLIVEIRA, 1930; NEVES et al., 2014; MOURO et al. 2017). Crustáceos do grupo Eumalacostraca também foram reportados por Adami-Rodrigues et al. (2012). Também, insetos das ordens Blattoidea e Grylloblattoidea com centenas de espécimes contendo estruturas frágeis preservadas como flagelos de antenas, escleritos torácicos e padrões epicuticulares (MARTINS NETO, 2005; PINTO & SEDOR, 2000; RICETTI et al., 2016). Além disso, Mouro et al. (2014; 2016) reportaram evidências de poríferos e casulos de Trichoptera. Por fim, notificou-se que mandíbulas de

poliquetas (RICETTI & WEINSCHÜTZ, 2011; RICETTI et al., 2014 e MOURO, et al., 2017) e conchas de amonoides Weinschütz et al. (2018) foram encontradas e estão em estudo, podendo contribuir ainda mais para o entendimento da paleoecologia do Folhelho Lontras.

Gnaedinger et al. (2012) e Urban et al. (2012) propuseram que a madeira fossilizada encontrada no Folhelho Lontras pertence a *Agathoxylon* Hartig e *Abietopitys* Kräusel. Além disso, fitoclastos foram encontrados e discutidos por Mouro et al. (2014) sugerindo um ambiente proximal com o continente.

Por fim, na porção basal do Folhelho Lontras são encontrados coprólitos heteropolares arredondados com forma cilíndrica, com comprimento médio de 24 mm, 13 mm de largura e 6 mm de espessura. As enterospiras têm comprimento médio de 22 mm, largura média de 11 mm e diâmetro médio de 5 mm e pertencem a intestinos fossilizados de tubarões (MOURO et al. 2021).

## 1.5 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESES

O Folhelho Lontras é uma *Fossil Lagerstätte* de extrema importância para estudos da Bacia do Paraná e bacias correlatas como a do Amazonas e de Paganzo na Argentina, que registram eventos glaciais e transgressivos do Paleozoico Superior. Neste sentido, entender os paleoambientes é fundamental para uma melhor compreensão dos sistemas deposicionais e das mudanças que afetaram o Gondwana. A partir desta justificativa, este trabalho se baseou na seguinte hipótese:

Os microfósseis do Folhelho Lontras podem fornecer dados para refinar os paleoambiente deste depósito. Junto a isso a microfauna do Folhelho poderia ser utilizada para correlações com microfósseis de outras localidades geográficas como Alfredo Wagner e Doutor Pedrinho, SC que possuem folhelhos também creditados como Folhelho Lontras, mas em um método analítico de comparação.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desta pesquisa de Doutorado é reconhecer os microfósseis do Folhelho Lontras para auxiliar nas interpretações paleoambientais deste depósito.

#### 2.1.1 Objetivos específicos

Frente ao objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Reconhecer os microfósseis do folhelho a nível taxonômico nas distintas localidades;
- Verificar através da microfauna se é possível reconhecer e correlacionar os afloramentos do Folhelho Lontras nas cidades de Mafra, Alfredo Wagner e Doutor Pedrinho, em Santa Catarina, utilizando os microfósseis de parede mineralizada, fitoclastos e *pellets* fecais;
- Utilizar os dados obtidos pelos microfósseis para auxiliar nas interpretações paleoambientais.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto envolveu revisão constante da literatura, trabalhos de campo, coleta de amostras para processamento de microfósseis e preparação e descrição das amostras em laboratório.

Os trabalhos de campo foram realizados em afloramentos do Grupo Itararé, em sua porção aflorante na borda leste da Bacia do Paraná. Foram prospectados afloramentos que possuíam um folhelho com características similares ao Folhelho Lontras, como cor escura, laminação plano paralela com ausência de clastos ou *till pellets*. Nos afloramentos, foram levantados perfis sedimentológicos utilizando os conceitos de Tucker (2011).

No afloramento do Campáleo em Mafra (S 26°09' 30. 22", W 49°48' 52. 82"), (Figura 2) foram coletadas 12 amostras de 1kg cada, correspondendo aos subníveis propostos por Weinschutz (2010). Os detalhes da preparação estão descritos na sessão Resultados, dentro dos materiais e métodos do Artigo 1

“Paleoenvironmental variations indicated by microfossils in the Upper Paleozoic *konservat-lagerstätte* of the Paraná Basin, Santa Catarina, Brazil”.

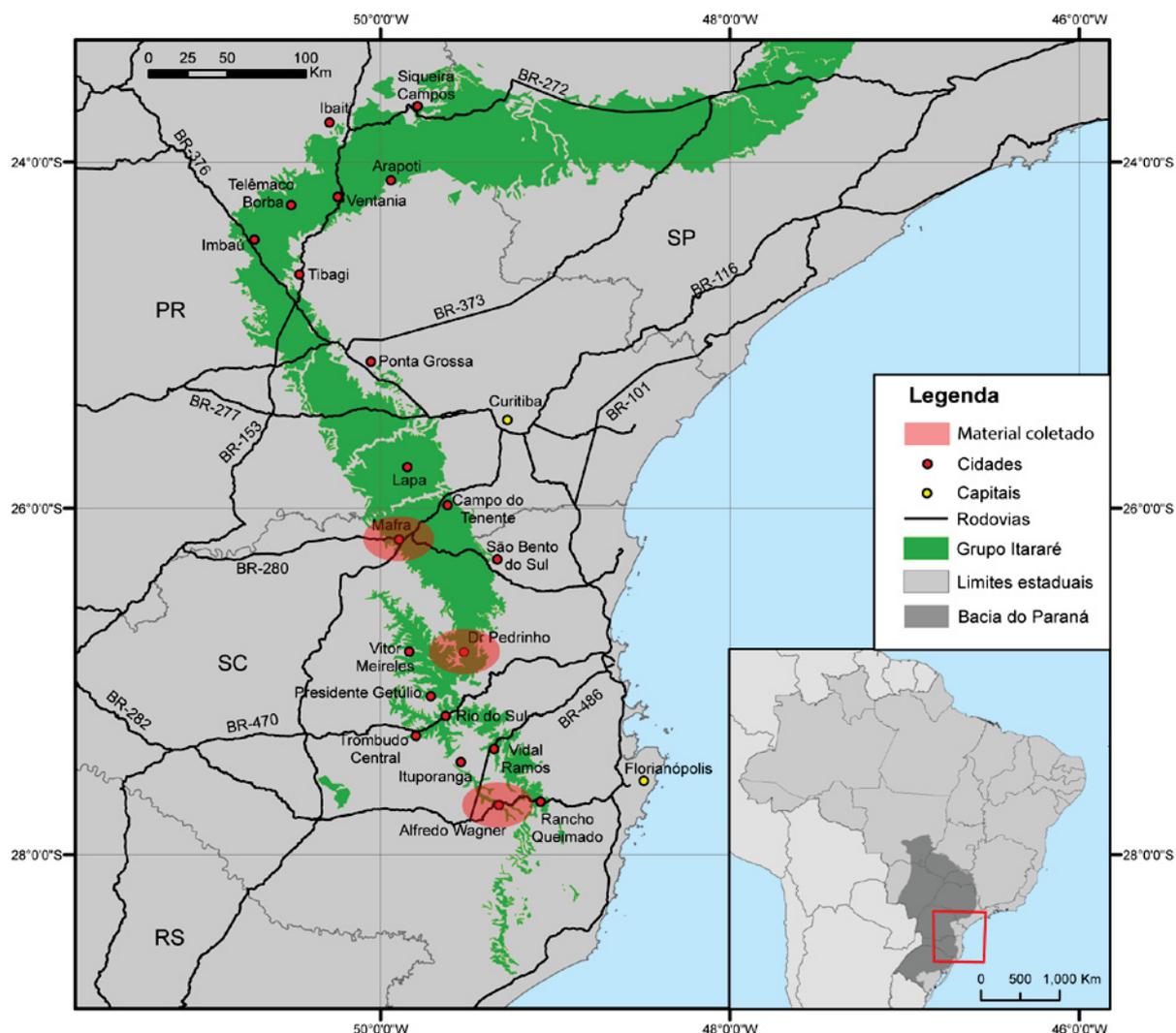


Figura 2 - Área de estudo. Destaque para Mafra, Dr. Pedrinho e Alfredo Wagner onde as amostras da pesquisa foram coletadas.

- Nos afloramentos de Doutor Pedrinho (12 pontos) e Alfredo Wagner (11 pontos). As amostragens foram feitas nas respectivas coordenadas;
- Doutor Pedrinho (644.327, 7.060.520; 647.564, 7.051.155; 647.135, 7.050.802; 648.842, 7.046.482; 638.939, 7.039.905; 638.949, 7.040.006; 641.232, 7.041.131; 643.524, 7.041.242; 646.754, 7.042.834; 651.329, 7.042.113; 651.731, 7.040.091; 653.501, 7.039.493).
- Locais de Alfredo Wagner (655.353, 6.940.170; 664.311, 6.935.177; 665.047, 6.933.065; 665.049, 6.933.066; 666.125, 6.931.616; 666.562, 6.931.616).

931 341; 666 791 6 931 260; 668 819 6 934 846; 668 331 6 934 902;  
668 260 6 934 949; 667 807 6 934 924).

Foram coletadas amostras de 1kg de folhelho por afloramento, quando a espessura era inferior a 2m. Quando a espessura era superior a 4m, a coleta ocorria a cada 4m de folhelho (Figura 3). Mais detalhes dos materiais e métodos podem ser vistos na seção Resultados do Artigo 2 – Micropaleontologia aplicada ao reconhecimento do Folhelho Lontras, nas regiões de Mafra, Doutor Pedrinho e Alfredo Wagner em Santa Catarina, Bacia do Paraná.

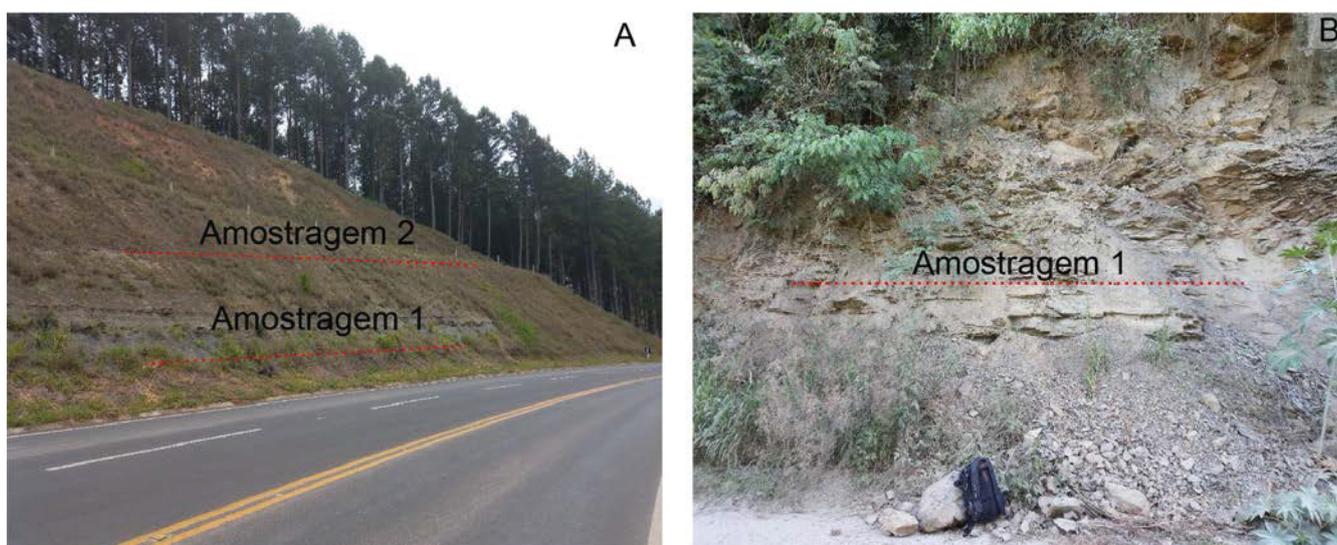


Figura 3 - Exemplo de método de coleta de amostras. A – Alfredo Wagner, duas amostras coletadas. B – Doutor Pedrinho, uma amostra coletada.

#### 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

## ARTIGO 1 – PALEOENVIRONMENTAL VARIATIONS INDICATED BY MICROFOSSILS IN THE UPPER PALEOZOIC *KONSERVAT-LAGERSTÄTTE* OF THE PARANÁ BASIN, SANTA CATARINA, BRAZIL (NO PRELO)

D. C. Silva<sup>1\*</sup>, D. C. B. Shemiko<sup>2</sup>, J. P. C. Pietsch<sup>1</sup> and C. S. Vega<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná.

PreScouter Inc<sup>2</sup>.

cs.dhiego@gmail.com, danielleschemiko@gmail.com, jennycarvalho131@gmail.com,  
cvega@ufpr.br

### ABSTRACT

The Lontras Shale is a Brazilian Paleozoic *Konservat-Lagerstätte* that preserves a remarkable diversity of fossils in an exceptional way. In this study, we aimed to refine the paleoenvironment of the Lontras Shale, in the city of Mafra at Santa Catarina State, using microfossils and phytoclasts as proxies. Sampling was conducted in twelve layers of the shale (1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B) in a 1.2m outcrop. The samples were collected every 10cm and weighed 1kg each. The collected material underwent chemical treatment with 15% hydrogen peroxide for 24 hours. Samples were then washed and dried, and all the total fractions were observed under a stereomicroscope. A total of 316 bioclasts (entire fossils or fragments) were identified. Thirty-three of the specimens were analyzed in a scanning electron microscope. As a result, we identified Foraminifera classified as *Saccamina* sp., *Psammosphaera irregularis* and *Ammobaculites* sp. The preservation level of the phytoclasts suggests that these fragments were deposited under a proximal environment. The analysis of the microfossils suggests that the Lontras Shale *Konservat-Lagerstätte* in the city of Mafra experienced significant changes in its paleoenvironment settings during deposition. The high concentration on the layer 3D suggests an increase in the nutrient supply or temperature variation during the Lontras Shale deposition. Finally, the data provided through microfossil analyses combined with preterit information could support that the Lontras Shale *Konservat-Lagerstätte* was deposited under a proximal environment such as an estuary or a fjord.

KEY-WORDS: Paraná Basin, Micropaleontology, Paleoenvironment.

## INTRODUCTION

The study of microfossils is fundamental to understanding the paleoenvironmental settings of ancient deposits, especially when dealing with glacial-influenced systems. These deposits are commonly overlooked due to the poor preservation of the microfossil and the reworking of the sediment. However, when microfossils are recovered, they can provide valuable information about the paleoenvironment.

The Lontras Shale is a Carboniferous unit that represents a maximum transgression system, influenced by meltwater cycles (Buso et al., 2017). This stratum is commonly used as a stratigraphic datum in several works (Vesely & Assine, 2006; Buso et al., 2017; Schemiko et al., 2019; Fallgater & Paim 2019). This unit represents a maximum transgression system, influenced by meltwater cycles (Buso et al., 2017). From a global perspective, Buso et al. (2017) describe the Lontras Shale as result of a maximum transgression event made from the Glacial System. This event produced proglacial marine deposits derived from melting water cycles, resulting in a relative rise in sea level. This stratum is commonly used as a stratigraphic datum in several works (Vesely & Assine, 2006; Buso et al., 2017; Schemiko et al., 2019; Fallgater & Paim 2019). The Lontras Shale has potential for correlation with other Carboniferous units in Western Gondwana, such as the Paganzo Basin in Argentina and the Amazonas Basin in Brazil (Mouro et al., 2020).

Up to now, several studies have reported different ages for the Lontras Shale (e.g., Cagliari et al., 2016; Buso et al., 2017; Griffis et al., 2018, 2019; Petri & Souza, 1993; Dino & Rösler, 2001; Souza, 2006; Holz et al., 2010; Scomazzon et al., 2013; Wilner et al., 2016). However, Mouro et al. (2021) summarized the differences between the ages and proposed that, considering the most recent evidence on biostratigraphic and radiometric data, the Lontras Shale is Pennsylvanian in age.

In a regional context, Weinschütz & Castro (2005) described the Lontras Shale with 50m of deposition, composed of small intervals of siltstone and claystone. This succession has granulometric thinning to the top and

decrease in dropstones concentration, suggesting a marine transgression, as well as proposed by Buso et al. (2017).

Moreover, this deposit has been studied since the beginning of the 20th century (Mouro et al., 2021), and is now recognized as a *Konservat-Lagerstätte*, preserving a singular variety of fossils, such as fishes (Malabarba, 1988; Hamel, 2005), brachiopods (Oliveira, 1930; Neves et al., 2017; Mouro, 2017), poriferans (Mouro et al., 2014, 2016), conodonts (Wilner et al., 2016), polychaetes (Ricetti & Weinschütz, 2011; Ricetti et al., 2014; Mouro, 2017), ostracods (Kallen et al., 2014), coprolites (Müller et al., 2017), insects (Martins-Neto, 2005; Pinto & Sedor, 2000; Ricetti et al., 2016), crustaceans (Adami-Rodrigues et al., 2012), woods (Gnaedinger et al., 2012; Urban et al., 2012), Foraminifera (Pigão & Mouro 2019) and fragments of cartilaginous fish (Pauliv et al., 2014). However, no study has been conducted to primarily use the assemblage of non-organic wall microfossils as a proxy for reconstructing the paleoenvironment.

About the micropaleontology data, previous studies using mainly palynomorphs contributed to the understanding of the biostratigraphy of the Itararé Group. Nonetheless, concerning paleoenvironments, the conclusions are very broad or are absent. Longhim (2007) reviewed the palynomorphs recovered from the upper portion of the Itararé Group but did not mention in detail the paleoenvironmental consequences of these findings. Lopes (2016) reported the presence of Foraminifera in the Lontras Shale but did not describe the morphology in detail. Later, Pigão & Mouro (2019) found similar structures in thin sections and discriminated them as agglutinating benthonic Foraminifera, but they didn't classify them at taxonomic level.

Scomazzon et al. (2013) and after Wilner et al. (2016) described the first occurrence of the feeding apparatuses of conodonts in the Paraná Basin. These gondolelid conodonts belong to the genus *Mesogondolella*, a well-known Cisuralian marker. However, no discussion about the paleoenvironment was listed.

In the research published by Kallen et al. (2014), they described the presence of an ostracod. The specimen was identified a mesohaline form allowing the interpretation of the paleoenvironment as a lake or lagoon, close to

the coast, which received freshwater input from glaciers and salty water from tidal fluctuations.

Based on this scenario, this paper aims to understand the Lontras Shale microfauna better and improve the understanding of the paleoenvironment of this Konservat-Lagerstätte using data provided through microfossil analysis.

## MATERIAL AND METHODS

The studied site is located in the city of Mafra, in Santa Catarina state, Brazil. The examined outcrop is 1.1-m thick and is stratigraphically positioned at the top of the Campo Mourão Formation, Itararé Group, Paraná Basin (Fig. 1).

The samples were collected on the outcrop (S 26°09' 30. 22", W 49°48' 52. 82"). The shale was subdivided according to Weinschutz (2010) into 12 closely spaced stratigraphic intervals named 1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 3A, 3B, 3C, 3D, 4A and 4B, considering rock fissility and physical attributes, such as detachment and nodes and clasts concentration. We collected 1kg of sample from each interval. The stratigraphic profiles with the sampled were done in 1:20 scale observing attributes such as lithology, sedimentary structures, color, composition, strata contacts and textures (Tucker, 2011).

From each sample, we divided 250g for chemical preparation. The rocks were processed with hydrogen peroxide at a concentration of 15% per 24 hours. After that, the samples were washed with abundant water under sieves of 420µm, 400µm, 297µm, 149µm and 75µm, and fully dried before the analyses. Then, all fractions were observed under a stereomicroscope with 40x magnification, and the portions obtained were sorted into the total fraction. After all the analyses, 316 bioclasts were identified, including Foraminifera, phytoclasts and fecal pellets. After that, 33 specimens were separated and analyzed in a Scanning Electron Microscope (SEM). For Foraminifera classification, the systematic definitions followed Loeblich & Tappan (1988).

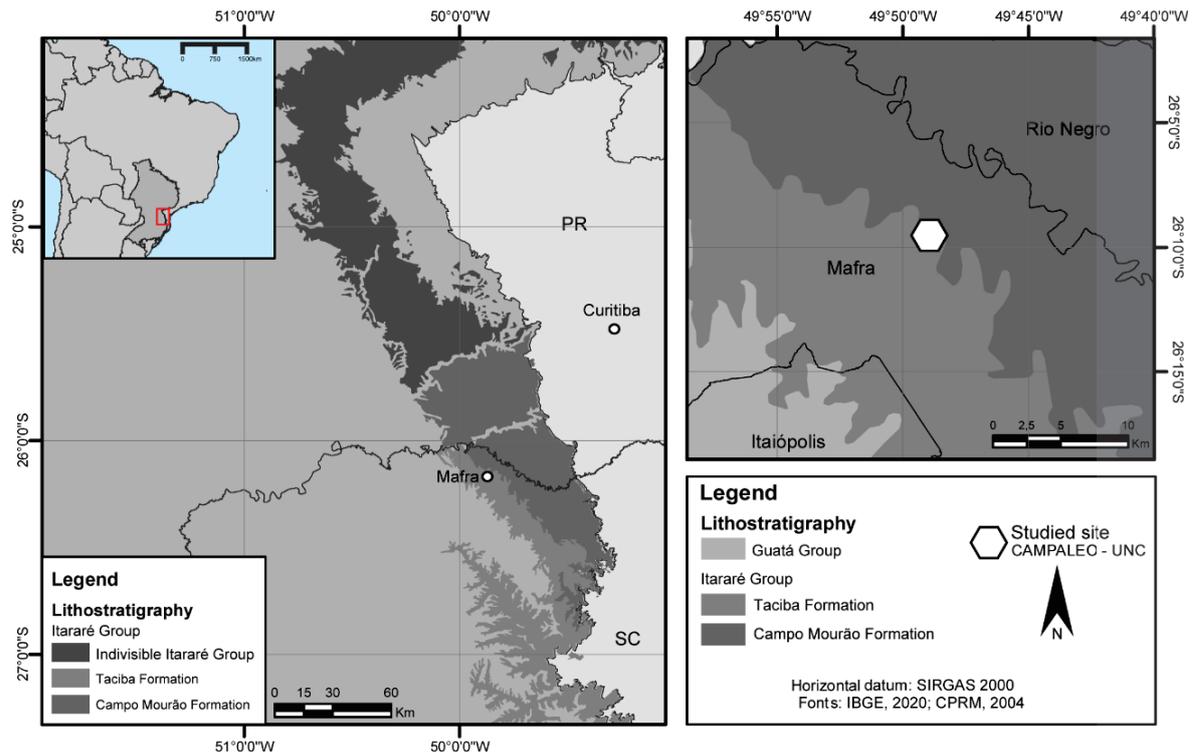


Figure 1 Studied area, location of the Lontras Shale in the Campáleo section, Mafra region

## RESULTS

Here we present the description of three genera of Foraminifera: *Ammobaculites* sp., *Psammosphaera irregularis* and *Saccamina* sp. Also, we demonstrate the occurrence of fecal pellets and phytoclasts. Table 1 presents the quantification of all the bioclasts identified in the Lontras Shale interval.

*Quantification of the stratigraphic distribution of bioclasts*

|           | Phytoclasts               | <i>Saccamina</i> sp | <i>Ammobaculites</i> sp | <i>Psammosphaera irregularis</i> | Fecal Pellets |
|-----------|---------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|
| <b>4B</b> |                           |                     |                         |                                  |               |
| <b>4A</b> | 12                        |                     |                         |                                  |               |
| <b>3D</b> | 44                        | 12                  | 8                       | 21                               | 11            |
| <b>3C</b> | 19                        |                     | 22                      |                                  | 21            |
| <b>3B</b> | 29                        | 33                  | 15                      | 32                               | 21            |
| <b>3A</b> | 22                        |                     |                         |                                  |               |
| <b>2B</b> | 11                        |                     |                         |                                  |               |
| <b>2A</b> | 4                         |                     |                         |                                  |               |
| <b>1D</b> | 8                         |                     |                         |                                  |               |
| <b>1C</b> | 7                         |                     | 4                       |                                  |               |
| <b>1B</b> |                           |                     |                         |                                  |               |
| <b>1A</b> |                           |                     |                         |                                  |               |
|           | 156                       | 45                  | 49                      | 53                               | 53            |
|           | <i>Total of specimens</i> |                     |                         |                                  |               |
|           | <i>Total of bioclasts</i> |                     |                         |                                  |               |
|           | 356                       |                     |                         |                                  |               |

## SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

### FORAMINIFERA

Order FORAMINIFERIDA Eichwald, 1830  
 Suborder ALLOGROMIINA Loeblich and Tappan, 1961  
 Family LITUOLIDAE de Blainville, 1827  
 Subfamily AMMOMARGINULININAE Podobina, 1978  
 Genus *Ammobaculites* Cushman, 1910  
*Ammobaculites* sp.

Description: Found on layers 1C, 3B, 3C and 3D. Test free, early portion close coiled, elongate, later uncoiling and rectilinear, wall coarsely agglutinated, aperture was not recognized (Fig. 2, A).

Remarks: Specimen A (Fig. 2, A) is the most complete test recovered from the Lontras Shale. B and C (Fig. 2, B, C) represent the later portion of the test and D and E (Fig. 2, D, E) the early part.

Suborder TEXTULARIINA Delage and Herouard, 1896  
 Family PSAMMOSPHAERIDAE Haeckel, 1894  
 Subfamily PSAMMOSPHAERINAE Haeckel, 1894  
 Genus *Psammosphaera* Grzybowski, 1896  
*Psammosphaera irregularis* Grzybowski, 1896

Description: Recovered from layers 3D and 3B. Test small, consisting of one sub globular chambers which have various types of attachment areas, such as

one or more small flattened surfaces with or without slight rims, shallow depressions in the wall where the test was perhaps attached to a small node on some foreign object or to another test; some tests apparently don't have any apertural opening, in which case apertures may be minute and interstitial. Wall composed of fine to moderately coarse siliceous grains in siliceous cement (Fig. 2, F-I).

Remarks: The left bottom section of specimens F and H suggest a clean cut, indicating a possible fixation in other chambers.

Suborder ALLOGROMIINA Loeblich and Tappan, 1961  
Family SACCAMMINIDAE Brady, 1884  
Subfamily SACCAMMININAE Brady, 1884  
Genus *Saccamina* Carpenter, 1869  
*Saccamina* sp.

Description: Found on layers 3D and 3B. The test is free, globular to slightly flattened, wall agglutinated with fine quartz particles held in an organic matrix, aperture not visible, later portion terminated with a short neck (Fig. 2, J-L).

Remarks: The samples have different characteristics among themselves. Based on the observed morphological features, specimens J and K exhibit a narrow neck and a body with a slightly flattened profile, whereas specimen L possesses a body with a slightly rounded profile and a wider neck. However, the absence of diagnostic features prevent classification at the species level.

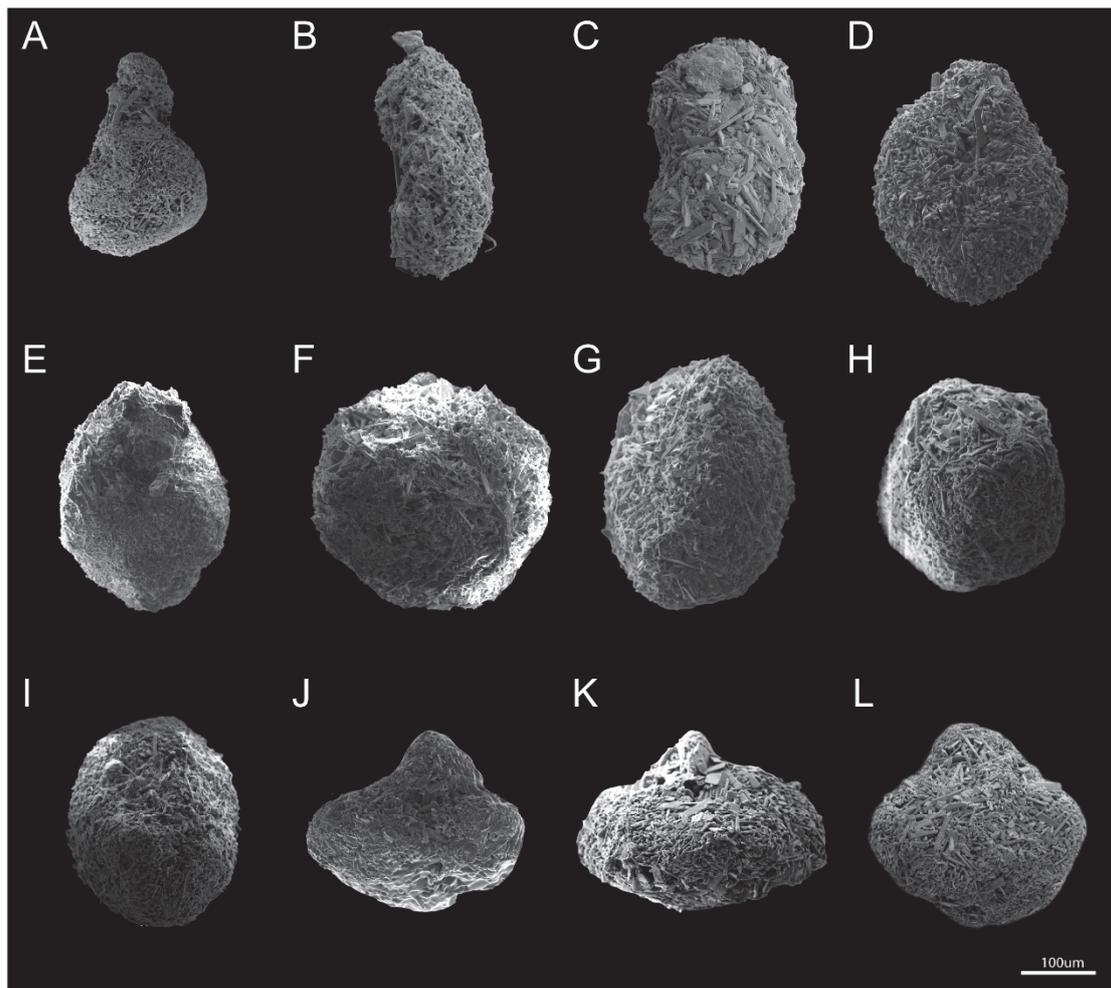


Figure 2 Scanning electron microscope images. A; entire specimen of *Ammobaculites* sp. B-C; later portion of *Ammobaculites* sp. D-E; early part of *Ammobaculites* sp. test. F-I *Psammosphaera irregularis*. J-L *Saccamina* sp.

## FECAL PELLETS

The peloids were found in layers 3B, 3C and 3D of the Lontras Shale. The material display oval to ellipsoidal shape. The wall is smooth on specimen A (Figure 3A) and very irregular on the other sample (Figure 3B). The uniform size, and apparent morphology, are evidence that could characterize them as fecal pellets, according to the literature (Blom & Alsop, 1988; O'Connell & James, 2015; Deik *et al.* 2019).

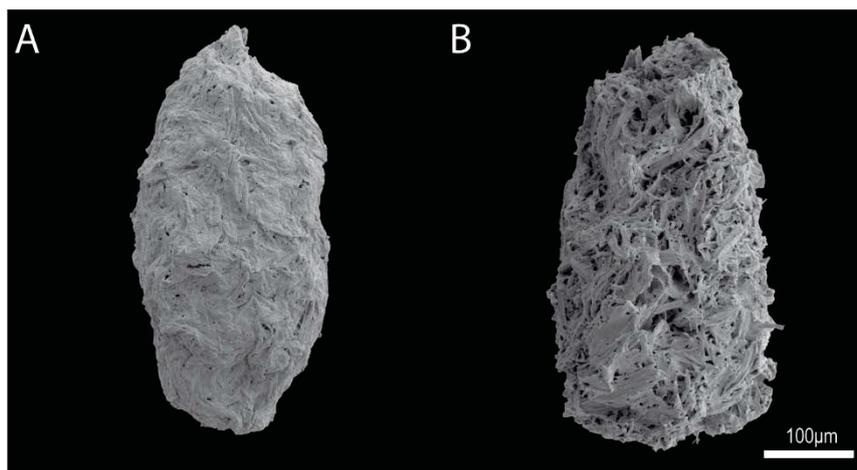


Figure 3 Scanning electron microscope images of fecal pellets. A and B, fecal pellets in different stages of preservation.

### PHYTOCLASTS

We observed phytoclasts in all Lontras Shale layers with various degrees of preservation. However, most of the particles are classified as well-preserved, poorly preserved and infested according to Bostick (1971), Hart (1986) and Ferreira (2018). For instance, sample A (Fig. 4 A, B) exhibited angular phytoclasts with a well-defined structure and intact cell boundaries, without any signs of bacterial or fungal degradation. Sample C (Fig. 4 C, D) showed angular phytoclasts with a robust structure and cells starting to have holes created by fungi, as well as evidence of bacterial scarring and pitting. Finally, sample E (Fig. 4 E, F) displayed angular phytoclasts with a clear structure, but with the walls heavily damaged by fungi and evidence of bacterial scarring and pitting.

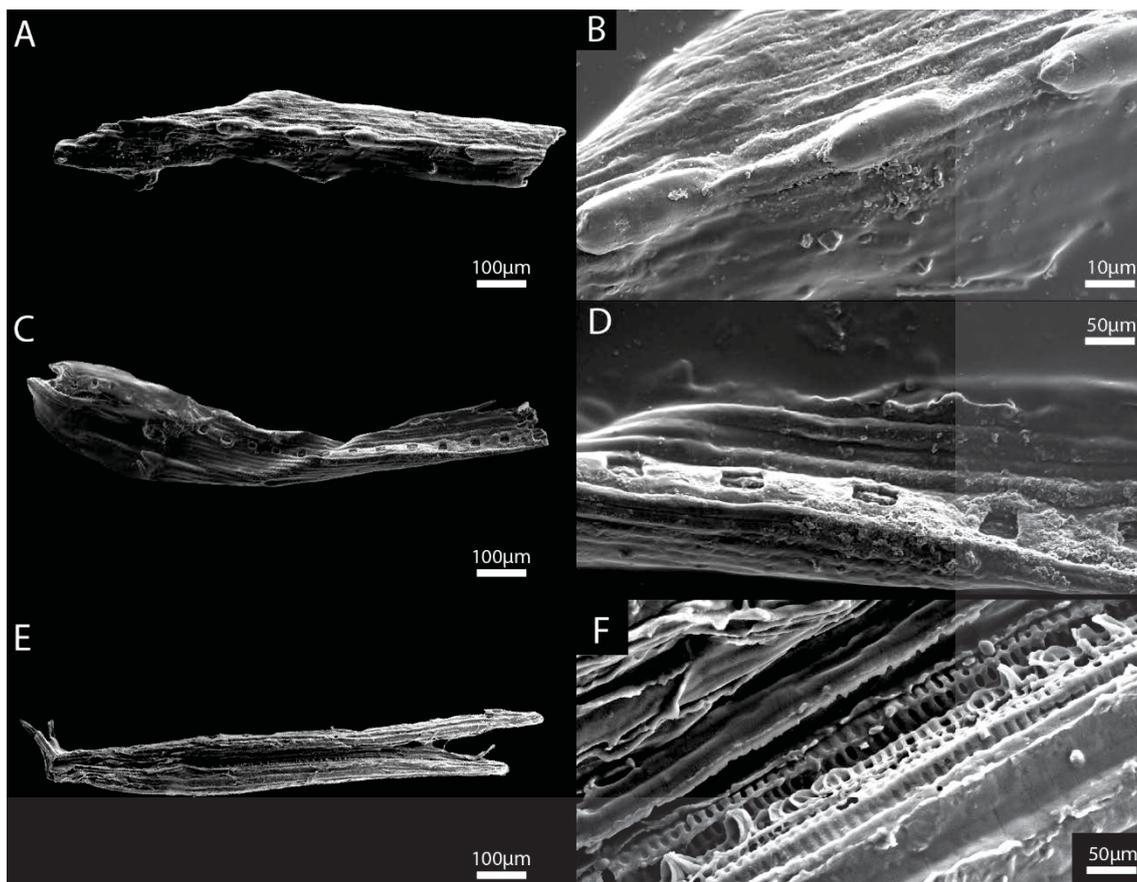


Figure 4 Scanning electron microscope images of phytoclasts morphotype – A; Well-preserved phytoclasts. B; sample A with 400x magnification zoom. C; Poorly-preserved phytoclasts. D; sample C with 330x magnification zoom. E; Infested phytoclasts. F; sample E with 1000x magnification zoom.

## DISCUSSIONS

The analyzed sedimentary succession in the Lontras Shale has revealed a complex history of depositional settings and preservation conditions. Layer 1A lacks any fossil registry (Fig. 5), possibly due to changes in the deposition settings or preservation. Layer 1B displays the characteristic aspect of Lontras Shale, but without any evidence of phytoclasts or other proximal evidence. Layer 1C, on the other hand, shows the presence of *Ammobaculites* sp. and phytoclasts, suggesting a continental proximity and events of continental input. Layers 1D to 3A have similar abundance, with phytoclasts and conodonts present between them. Layers 3B to 3D represent the most complex ecosystem in the Lontras Shale deposition, with almost all the specimens known to the shale, recovered from layer 3D. Layers 4A and 4B show a lower biodiversity, with no foraminifera recovered so far, but phytoclasts are still present. This

could indicate a severe change in the water characteristics, such as temperature or nutrient inputs.

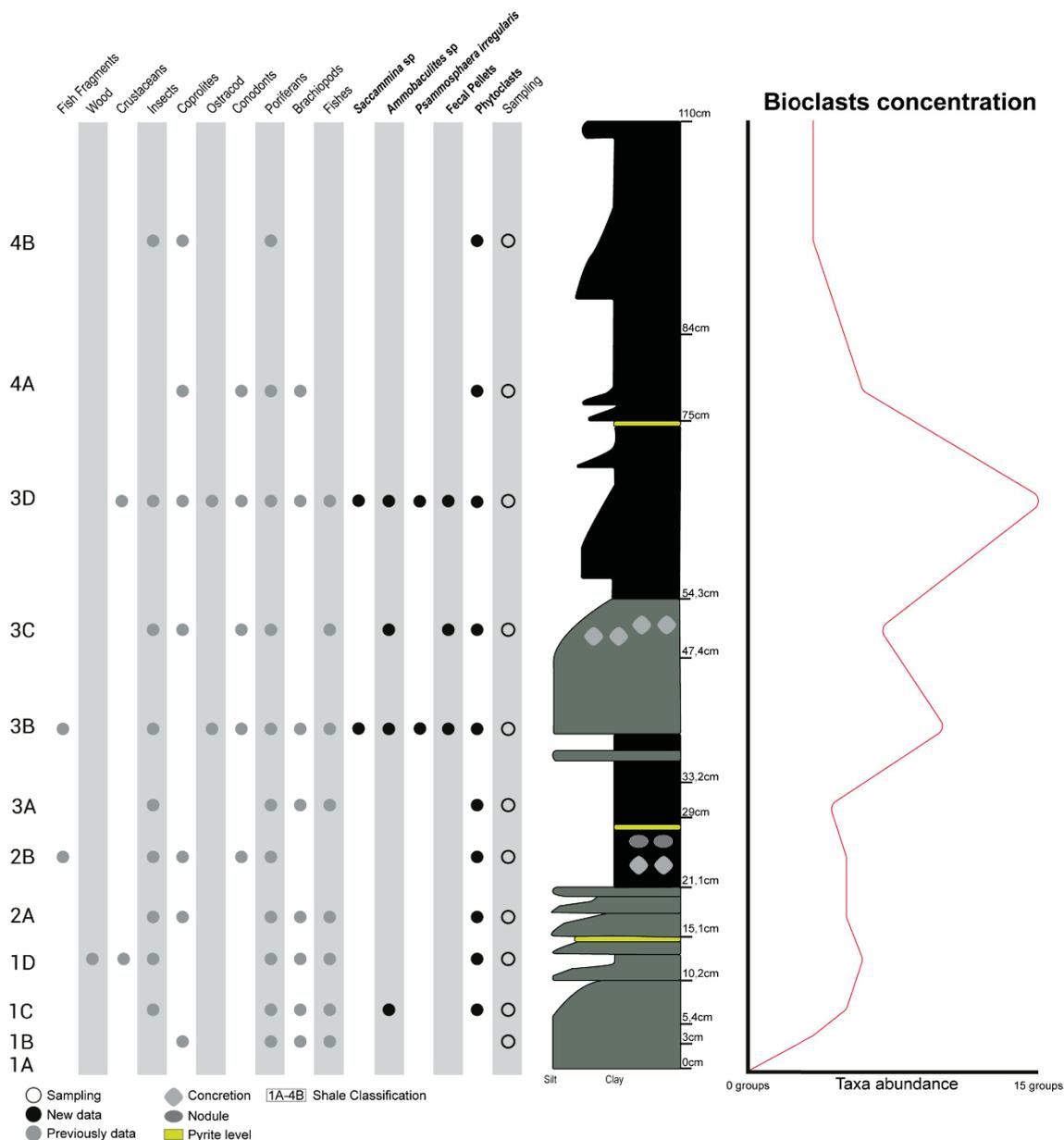


Figure 5. Bioclast abundance and fossil registry in the Lontras Shale based on this study (written in bold) and previous reports. The fossil taxa comprise fish fragments (Pauliv et al., 2014), wood (Gnaedinger et al., 2012; Urban et al., 2012), crustaceans (Adami-Rodrigues et al., 2012), insects (Martins-Neto, 2005; Pinto & Sedor, 2000; Ricetti et al., 2016), coprolites (Müller et al., 2017), ostracods (Kallen et al., 2014), conodonts (Wilner et al., 2016; Scomazzon et al., 2013), poriferans (Mouro et al., 2014, 2016), brachiopods (Oliveira, 1930; Neves et al., 2017; Mouro, 2017), and fishes (Malabarba, 1988; Hamel, 2005).

The distribution and abundance of benthic foraminifera have been extensively studied to gain insights into past environmental conditions.

*Ammobaculites* (Fig. 2A-E), for example, have been widely used as an indicator of estuarine mesohaline water environments (Bignot, 1999), and their presence has been observed in various paleoenvironments, including low marsh, littoral brackish, and estuarine-low marsh settings (Orabi, 2020; Wightman et al., 1994).

Moreover, *Psammosphaera irregularis* (Fig.2 F-I), is a species that is found in a range of deep-water environments, from mildly oxygen-deficient conditions to mangrove swamps. Its ability to tolerate low-oxygen and low-food conditions, as well as its association with paleoenvironmental instability events, may explain why it is so widely distributed (Li et al., 2020; Alegret et al., 2003). Also, Hjálmarsdóttir et al. (2022) suggested that these morphotypes have a shallow infaunal suspension or passive deposit feeding behavior.

*Saccamina* (Fig.2 J-L), on the other hand, is commonly found in Labrador fjords in Canada, where the environment is rich in nutrients. This observation is in line with the paleoenvironmental conclusions of Saldanha et al. (2023). Kalanat et al. (2017) demonstrated the coexistence of shallow and deep-water agglutinated benthic Foraminifera, suggesting an alteration in the water column due to continental inputs.

In summary, the presence and distribution of benthic Foraminifera is indicative of various marine environments, from shallow to deep-water settings. This suggests that these organisms can adapt to different environmental conditions and may serve as useful tools for paleoenvironmental reconstructions. However, further research is needed better to understand the ecology and life history of these organisms.

Phytoclasts are small fragments of higher plants or fungi that range in size from clay to fine sand (Bostick, 1971; Hart, 1986; Ferreira, 2018). They can be classified into five morphotypes based on their preservation: well-preserved (Fig. 4A), poorly preserved (Fig.4C), infested (Fig.4E), amorphous structured and amorphous no-structured (Hart, 1986).

Additionally, high percentages of phytoclasts are mostly related to proximal depositional conditions, with the main controlling factor being the short transport of the particles (Carvalho et al., 2019). Other factors, such as oxidizing conditions and the relative resistance of the tissues, are also associated with

the proximity of the source area. Generally, large amounts of phytoclasts particles are deposited by rivers in estuaries and delta, both close to shorelines.

*Ammobaculites*, *Psammosphaera*, and *Saccamina* show different environmental preferences among the foraminifera from the Lontras Shale. *Ammobaculites* indicates estuarine mesohaline water environments, in agreement with the observations of Saldanha et al. (2023) and Kallen et al. (2014). *Psammosphaera* occurs in a range of deep-water environments and supports the description of Weinschutz & Castro (2005), who explain that the Lontras Shale consists of two units: a basal transgressive one that marks the end of the last deglaciation and a platformal marine one that forms the highstand systems tract. *Saccamina* is commonly found in nutrient-rich environments, which suggests a favorable habitat for various taxa, as previously mentioned and systematized in Figure 5.

These different data obtained by foraminifera and phytoclasts suggest that the Lontras Shale deposits, in the Mafra City were sedimented in different settings. Additionally, the presence of high percentages of phytoclasts particles in depositional environments can also provide information on the proximity of the source area. The indication that the depositional setting was different through time, but proximally to the coast, has always been a constant factor.

Finally, the high concentration of microfossils and other fossils in the 3D layer may point to a period of increased nutrient input, altered temperature, and/or fluctuating relative sea level (Mouro et al., 2021). Overall, the presence of Foraminifera such as *Ammobaculites* and *Psammosphaera irregularis* provides an effective proxy for understanding past environmental conditions and the changes in the water column through time. However, by combining *Ammobaculites* with other proxies, like phytoclasts abundance, it is safe to assume that the Lontras Shale was deposited in proximal conditions like an estuary or fjord with moments of deeper water column.

## 5 Conclusions

In this study, we analyzed the presence and distribution of microfossils such as Foraminifera, fecal pellets and phytoclasts in the layers of an *Konservat-Lagerstätte* named Lontras Shale, to infer the paleoenvironmental conditions of the region.

The main results obtained were:

- The incidence of *Ammobaculites* indicates estuarine mesohaline environments, with fresh and salt water influence.
- The occurrence of *Psammosphaera irregularis* indicates moments of deep-water environments, with low oxygenation and low food availability.
- The presence of *Saccamina* indicates nutrient-rich environments, possibly related to fjords or bays.
- The high percentage of phytoclasts indicates proximal depositional conditions, with short transport of the particles and proximity to the source area.
- These results suggest that the Lontras Shale was deposited in different settings through time, but always close to the coast line. Moreover, the presence of a high concentration of microfossils and other fossils in the 3D layer may point to a period of increased nutrient input, altered temperature and/or fluctuating relative sea level.
- Therefore, the presence of Foraminifera like *Ammobaculites* provides an effective proxy for understanding past environmental conditions. By combining *Ammobaculites* with other proxies, such as phytoclasts abundance, it is safe to assume that the Lontras Shale was deposited in proximal conditions like an estuary or fjord.

## ACKNOWLEDGMENT

We would like to express our gratitude to CAPES for the financial support that made this research possible. We also thank LAMIR and CME from UFPR for providing the analytical facilities and assistance. We are grateful to UNC for the field support and guidance. Finally, we appreciate the constructive comments and suggestions from the reviewers and the editor that improved the quality of this paper.

## REFERENCES

- Adami-Rodrigues, K.P., Pazinato P.G., Correa, R. C. Ricetti, J. H. Z., Weinschutz, L. C. 2012. Malacostraca da Formação Rio do Sul, Grupo Itararé, Bacia do Paraná, Mafrá, SC, Brasil. *In*: Ghilardi, R. P. & Scheffler, S. M. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEOINVERTEBRADOS, 1., Bauru, 2012. *Boletim de Resumos*. Bauru, UNESP.
- Alegret, L., Molina, E., Thomas, E., 2003. Benthic foraminiferal turnover across the Cretaceous/Tertiary boundary at Agost (southeastern Spain): paleoenvironmental inferences. *Marine Micropaleontology* 48, 251–279.

- Bignot, G., 1999. Une association à *Ammobaculites praelongatendam* (foraminifères) indicatrice des paléosalinités de l'estuaire sparnacien (éocène inférieur du bassin de Paris). *Revue de Micropaléontologie* 42, n° 1. 21–31. [https://doi.org/10.1016/S0035-1598\(99\)90153-8](https://doi.org/10.1016/S0035-1598(99)90153-8).
- Blainville, H.M.D., 1827. Manuel de macologie et de conchyliologie (1825). F.G. Levrault, Paris, 250 pp. [in French].
- Blom, W. M. & Alsop, B. D. 1988. Carbonate Mud Sedimentation on a Temperate Shelf: Bass Basin, Southeastern Australia. *Sedimentary Geology*, Non-tropical shelf carbonates-modern and ancient, 60, n° 1. 269–80. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(88\)90124-8](https://doi.org/10.1016/0037-0738(88)90124-8).
- Bostick, N. H. 1971. Thermal alteration of clastic organic particles as an indicator of contact and burial metamorphism in sedimentary rocks. *Geoscience and Man* 3, n° 1. 83–92. <https://doi.org/10.1080/00721395.1971.9989712>.
- Brady, H. B. 1884. Report on the Foraminifera dredged by H.M.S. Challenger during the Years 1873–1876. *Report on the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger during the years 1873–76. Zoology*. 9 (part 22): i-xxi, 1-814; pl. 1-115., available online at <http://www.19thcenturyscience.org/HMSC/HMSC-Reports/Zool-22/htm/doc.html>
- Buso, V. V., Aquino C. D., Paim, P. S. G., Souza P. A. S., Mori A. L., Fallgatter C., Milana J. P. & Kneller B. 2019. Late Palaeozoic Glacial Cycles and Subcycles in Western Gondwana: Correlation of Surface and Subsurface Data of the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Global events of the Late Devonian to Early Permian, 531 Part B. 108435. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.09.004>.
- Cagliari, J., Philipp, R. P., Valdez, B. V., Netto, R. G., Hillebrand, P., Lopes, C. R., Basei, M. A. S. & Faccini, U. F. 2016. Age constraints of the glaciation in the Paraná Basin: evidence from new U–Pb dates. *J. Geol. Soc.*, 173: 871–874.
- Carpenter, W. B. 1869. On the Rhizopodal Fauna of the Deep Sea. *Proceedings of the Royal Society of London*. 18(114–122): 59–62., available online at <https://doi.org/10.1098/rspl.1869.0019>
- Carvalho, M. A., V. S. F. Trindade, C. G. Gonçalves & H. Costa. 2019. “Palynofacies Analyses of Fox Bay Formation (Devonian), Falkland Islands”. *Anuário Do Instituto de Geociências - UFRJ* 42, n° 1: 7–19. [https://doi.org/10.11137/2019\\_1\\_07\\_19](https://doi.org/10.11137/2019_1_07_19).
- Cushman, J. A. 1910. A monograph of the Foraminifera of the North Pacific Ocean. Part I. Astrorhizidae and Lituolidae. *Bulletin of the United States National Museum*. 71(1): 1–134., available online at <https://www.biodiversitylibrary.org/page/7878332> page(s): p. 108
- Deik, H., Lars R., Benjamin P., Hideko T. 2019. Hardened Faecal Pellets as a Significant Component in Deep Water, Subtropical Marine Environments. *The Depositional Record* 5, n° 2 (2019): 348–61. <https://doi.org/10.1002/dep2.64>.
- Delage, Y. & Hérouard, E. 1896: Traité de Zoologie Concrète. Tome 1. La Cellule et Les Protozoaires. Paris, C. Reinwald, 584 p.
- Dino, R. & Rösler, O. 2001. Significado estratigráfico e paleoambiental da palinoflora de concreções da Formação Rio do Sul (Neopaleozóico da Bacia do Paraná) na região de Mafra, SC. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 2: 148–149.
- Eichwald, E. 1830. Naturhistorische Skizze von Lithuanien, Volhynien und Podolien in geognostisch-mineralogischer, botanischer und zoologischer Hinsicht. *Wilna [Vilnius], Zawadzki*. 256 p., 3 pl.

- Fallgatter, C. & Paim P. S. G. 2019. On the Origin of the Itararé Group Basal Nonconformity and its Implications for the Late Paleozoic Glaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 531. 108225. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.02.039>.
- Ferreira, D. A. P. de M. 2018. Caracterização organofaciológica e organogeoquímica de sedimentos da formação Muribeca e Riachuelo, Cretáceo inferior da Bacia de Sergipe Alagoas. 2018. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 82p.
- Gnaedinger, S. K. Kloster, A. C., Adami-Rodrigues, K., Urban, C. & Scomazzon, A. K. 2012. Permineralized Woods from Upper Carboniferous – Lower Permian of the Itararé Group, Brazil. In: ENCONTRO PANAMERICANO DA IAWA, Recife. *Anais*. Recife, p. 58-59.
- Griffis, N. P., Montañez, I. P., Fedorchuk, N., Isbell, J., Mundil, R., Vesely, F., Weinshultz, L., Iannuzzi, R., Gulbranson, E., Taboada, A., Pagani, A., Sanborn, M. E., Huyskens, M., Wimpenny, J., Linol, B. & Yin, Q. Z. 2019. Isotopes to ice: constraining provenance of glacial deposits and ice centers in west central Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 531 (Part B): 108745. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.PALAEO.2018.04.020>.
- Griffis, N. P., Mundil, R., Montañez, I. P., Isbell, J., Fedorchuk, N., Vesely, F., Iannuzzi, R. & Yin, Q. Z. 2018. A new stratigraphic framework built on U-Pb single-zircon TIMS ages and implications for the timing of the penultimate icehouse (Paraná Basin, Brazil). *GSA Bull.*, 130(5-6): 848-858
- Grzybowski, J. 1896. Otwornice czerwonych ilow z Wadowic. *Rozprawy, Akademia Umiejetnosci w Krakowie, Wydzial Matematyczno-Przyrodniczy, Kraków*. 30(ser. 2 10): 261-308., available online at <http://www.wbc.poznan.pl/dlibra/docmetadata?id=158884>
- Haeckel, E. 1894, Systematische Phylogenie. Entwurf eines Natürlichen Systems der Organismen auf Grund ihrer Stammesgeschichte. Theil1, Systematische Phylogenie der Protisten und Pflanzen. Berlin: Georg Reimer, available online at <https://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/19949874>
- Hamel, M. H. 2005. A new actinopterygian from the Early Permian of the Paraná Basin, Brazil. *J. Vertebrate Paleontology*, 25(1): 19-26.
- Hart, G. F. 1986. Origin and Classification of Organic Matter in Clastic Systems. *Palynology* 10, nº 1. 1–23. <https://doi.org/10.1080/01916122.1986.9989300>.
- Hjálmarsdóttir, H. R., Øyvind H., Jenő N., Sten-Andreas G. 2022. Foraminiferal Stratigraphy and Paleoenvironment of a Storm-Influenced Marine Shelf: Upper Aptian – Lower Albian, Svalbard, Arctic Norway. *Cretaceous Research* 130 (1º de fevereiro de 2022): 105033. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.105033>.
- Holz, M., França, A. B., Souza, P. A., Iannuzzi, R. & Rohn, R. 2010. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. *J. S. Am. Earth Sci.*, 29: 381-399.
- Kalanat, B., Mohammad V., Hossein V., Mohamad H. M., Fujio K. 2017. Benthic Foraminiferal Response to Environmental Changes across Cenomanian/Turonian Boundary (OAE2) in the Northeastern Tethys, Kopet-Dagh Basin. *Journal of African Earth Sciences* 134. 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.05.019>.
- Kallen, C. V. D. Scomazzon, A. K., Urban, C. & Adami-Rodrigues, K. 2014. Novo registro de ostracodes do Grupo Itararé, Formação Taciba, Membro Rio do Sul, Mafra, Santa Catarina. In: 23º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. *Anais*. Pelotas, p. 32.

- Li G., Holbourn A., Kuhnt W., Fang P., Yao J. & Willems H., 2020. Occurrence of benthic foraminifers across the Jurassic/Cretaceous transition in Gyangze, southern Xizang (Tibet), China, Cretaceous Research, Volume 105, 103931, ISSN 0195-6671, <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2018.08.001>.
- Loeblich, A. R., H. Tappan. 1988. *Foraminiferal Genera and Their Classification*. Boston, MA: Springer US. 2046p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-5760-3>.
- Longhim, M. E. 2007. UNESP. Palinoestratigrafia na passagem do Grupo Itararé ao Guatá (Carbonífero-Permiano) no sul do Estado do Paraná e norte do Estado de Santa Catarina, borda leste da Bacia do Paraná. 175p. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102985>.
- Lopes, T. K. 2016. Análise bioestratigráfica e paleoambiental do Folhelho Lontras, Topo da Formação Campo Mourão, Grupo Itararé, no Afloramento Campáleo, na cidade de Mafra, SC. Florianópolis, 95p. Monografia, Universidade do Contestado.
- Malabarba, M. C. S. L. 1988. A new genus and species of stem group actinopteran fish from the Lower Permian of Santa Catarina State, Brazil. *Zool. J. Linnean Soc.*, 94: 287-299.
- Martins-Neto, R. G. 2005. Estágio atual da paleoartropodologia brasileira: hexápodes, miriápodes, crustáceos (Isopoda, Decapoda, Eucrustacea e Copepoda) e quelicerados. *Arquivos do Museu Nacional*, 63(3): 471-494.
- Mouro, L. D. 2017. Paleoecologia do Folhelho Lontras, Formação Campo Mourão, Cisuraliano, Brasil. Rio de Janeiro, 213p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Mouro, L. D. Ricetti J. H. Z., Weinschütz L. C. & Pacheco M. L. A. F. 2021. Folhelho Lontras, uma *Lagerstätte* do Paleozoico brasileiro. In Contribuições a Geologia do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 209-228. Andréa Ritter Jelinek & Carlos Augusto Sommer, 2021 – Sociedade Brasileira de Geologia - Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura.
- Mouro, L. D., Fernandes, A. C. S., Rogério, D. W. & Fonseca, V. M. M. 2014. First articulated sponge from the Paleozoic of Brazil, and a new organization of the Order Hemidiscosa. *J. Paleontol.*, 88(1): 171-178.
- Mouro, L. D., Zaton, M., Fernandes, A. C. S. & Waichel, B. L. 2016. Larval cases of caddisfly (Insecta: Trichoptera) affinity in Early Permian marine environments of Gondwana. *Nature Scientific Report*, 6: 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep19215>
- Muller, C., Mouro, L. D., Silva, M. S. & Vieira, L. D. 2017. Coprolites of Campaleo outcrop, Lontras Shale, Campo Mourão Formation, in Mafra-SC. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 1, Ribeirão Preto. Boletim de Resumos. Ribeirão Preto, p. 211.
- Neves, J. P. Taboada, A. C., Weinschütz, L. C. & Simões, M. G. 2017. Brachiopods of the Itararé Group from Mafra County, Southern Brazil, and their geological significance. In: Langer, M. A., Al Halabi, W. A., Ferreira, G. S., Hermanson, G., Marsola, J. C. A. & Onary-Alves, S. Y. *Paleontologia em Destaque*, ano 32 (Edição Especial): 222.
- O'Connell, L. G., James P. N. 2015. Composition and Genesis of Temperate, Shallow-Marine Carbonate Muds: Spencer Gulf, South Australia. *Journal of Sedimentary Research* 85, nº 10. 1275–91. <https://doi.org/10.2110/jsr.2015.73>.
- Oliveira, E. P. 1930 Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná. Rio de Janeiro, 127p. Monografia, Serviço de Geologia e Mineralogia.
- Orabi, H. 2020. Morphological Abnormalities Observed in the Species *Ammobaculites texanus* Cushman and Paleoenvironmental Implications. *Revue de Micropaléontologie* 68. <https://doi.org/10.1016/j.revmic.2020.100444>.

- Pauliv, V. E., Dias, E. V., Sedor, F. A., Weinschütz, L. C. 2014. Elasmobranchii teeth from the Late Carboniferous-Early Permian Itararé Group (Paraná Basin), Southern Brazil. In: SOCIETY OF VERTEBRATE PALEONTOLOGY 74TH ANNUAL MEETING, Berlin, p. 202.
- Petri, S. & Souza, P. A. 1993. Síntese dos conhecimentos e novas concepções sobre a bioestratigrafia do Subgrupo Itararé, Bacia do Paraná, Brasil. *Rev. Inst. Geol.*, 14(2):718.
- Pigão, S. G. & Mouro, L. D. 2019. Identifying microfossils from Lontras shale horizon using petrographic thin-section. In: XI SIMPOSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Bento Gonçalves. Anais. Bento Gonçalves, v. 1, p. 235.
- Pinto, I. D. & Sedor, F. A. 2000. A new Upper Carboniferous Blattoid from Mafra Formation Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. *Pesquisa em Geociências*, 27: 45-48.
- Podobina, V. M. 1978, Sistematika i filogeniya Gaplofragmiidey, Systematics and phylogeny of the Haplophragmiidae. Tomsk: Tomsk Universitet.
- Ricetti, J. H. Z. & Weinschütz, L. C. 2011. Ocorrência de escolecodontes (Annelida, Labidognatha) nas formações Mafra e Rio do Sul, Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná, Brasil. In: REUNIAO REGIONAL DE PALEONTOLOGIA DOS ESTADOS DO PARANA E SANTA CATARINA – PALEO, 12., Cascavel, 2010. *Paleontologia em Destaque*, 64: 31-32.
- Ricetti, J. H. Z., Schneider, J. W., Iannuzzi, R. & Weinschütz, L. C. 2016. *Anthracoblattina mendesi* Pinto and Sedor (Blattodea, Phylloblattidae): the most completely preserved South American Palaeozoic cockroach. *Rev. Brasil. Paleontol.*, 19: 181-194.
- Ricetti, J. H. Z., Wilner, E. & Weinschütz, L. C. 2014. Novos escolecodontes do contato Carbonífero-Permiano (Grupo Itararé) da Bacia do Paraná na cidade de Mafra, Santa Catarina. In: XVI ENCONTRO REGIONAL DE PALEONTOLOGIA DOS ESTADOS DO PARANAA E SANTA CATARINA – PALEO, 2014, Florianópolis. *Paleontologia em Destaque*, 68: 76-77
- Saldanha, J. P., Mouro L. D., Horodyski. R. S., Ritter. M. N., Schmidt-Neto H. 2023. Taphonomy and Paleoecology of the Lontras Shale Lagerstätte: Detailing the Warming Peak of a Late Paleozoic Ice Age Temperate Fjord. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 609. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111326>.
- Schemiko. D. C. B., F.F. Vesely. & M.C.N.L. Rodrigues. 2019. Deepwater to Fluvio-Deltaic Stratigraphic Evolution of a Deglaciaded Depocenter: The Early Permian Rio do Sul and Rio Bonito Formations, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 95: 102260. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102260>.
- Scomazzon, A. K., Wilner, E., Purnell, M. A., Nascimento, S., Weinschütz, L. C., Lemos, V. B., de Souza, F. L. & da Silva, C. P. 2013. First report of conodont apparatuses from Brazil – Permian of Paraná Basin, Itararé Group, Lontras Shale – Evidence of Gondwana deglaciation. In: CONODONT FROM THE ANDES. 3<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONODONT SYMPOSIUM. Paleontological Note, (Publicación Especial 13): 99-102.
- Souza, P. A. 2006. Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup northeastern Paraná Basin, Brazil. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 138: 9-29.
- Tucker, M.E. 2011. *Sedimentary Rocks in the Field: A Practical Guide*. 4th Edition, John Willey and Sons Ltd., Chichester, 85-104.
- Urban, C. Gnaedinger, S., Rodrigues, K. A. & Scomazzon, A. K. 2012. Primeiro Registro de maderas fósiles del Grupo Itararé, Carbonífero Superior-Permiano Inferior, Brasil. In: II SIMPÓSIO ARGENTINO DE MELISOPALINOLOGIA, Buenos Aires. *Anais*. Buenos Aires, p. 126.
- Vesely, F. F. & Assine L. M. 2006. Deglaciation sequences in the Permo-Carboniferous Itararé Group, Paraná Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Comparison between intracratonic and active margin 4 basins: Examples from the Late Paleozoic of western Gondwana, 22, nº 3–4: 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.09.006>.

- Weinschütz, L. C. 2010. Divisão do Afloramento Campáleo. *In: I CONODONT MEETING*, Mafra. Mafra, p. 1-3.
- Weinschütz, L. C. & Castro J. C. 2005. A seqüência mafra superior \ Rio Do Sul inferior (Grupo Itararé, permocarbonífero) em sondagens testemunhadas da região de mafra (SC), Margem Leste da Bacia do Paraná. *Geociências*, 131–41.
- Wightman, W. G., David B. S., Franco S. M., Martin R. G. 1994. Agglutinated Foraminifera and Thecamoebians from the Late Carboniferous Sydney Coalfield, Nova Scotia: Paleoecology, Paleoenvironments and Paleogeographical Implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, The Euramerican coal province: Controls on tropical peat accumulation, 106, nº 1. 187–202. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0031-0182(94)90010-8).
- Wilner, E., Lemos, V. B. & Scmazzon, A. K. 2016. Associações naturais de conodontes *Mesogondolella* spp., Grupo Itararé, Cisuraliano da Bacia do Paraná. *GAEA J. Geosci.*, 9(1): 30-36.

**5 ARTIGO 2 – MICROPALÉONTOLOGIA APLICADA AO RECONHECIMENTO DO FOLHELHO LONTRAS, NAS REGIÕES DE MAFRA, DOUTOR PEDRINHO E ALFREDO WAGNER EM SANTA CATARINA, BACIA DO PARANÁ**

D. C. Silva<sup>1\*</sup>, D. C. B. Shemiko<sup>2</sup>, J. P. C. Pietsch<sup>1</sup> and C. S. Vega<sup>1</sup>

**<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná. PreScouter Inc<sup>2</sup>.**

*cs.dhiego@gmail.com, danielleschemiko@gmail.com,  
jennycarvalho131@gmail.com, cvega@ufpr.br*

**\*Artigo será traduzido para inglês após revisão da banca examinadora.  
Neste sentido, algumas figuras e tabelas já estão nesta língua.**

**RESUMO**

O Folhelho Lontras é um depósito do Grupo Itararé, da Bacia do Paraná, que registra eventos glaciais e transgressões marinhas do Paleozoico Superior. Este depósito é considerada uma *Fossil Lagerstätte*, que contém uma diversidade de microfósseis que indicam condições paleoambientais e paleoclimáticas distintas das demais unidades do Grupo Itararé. O objetivo deste trabalho foi investigar o conteúdo microfossilífero do Folhelho Lontras ao longo dos afloramentos de Mafra, Alfredo Wagner e Doutor Pedrinho, utilizando os microfósseis como ferramentas para auxiliar nas interpretações paleoambientais e nas correlações estratigráficas do Folhelho Lontras com outros depósitos onde não há a presença de macrofósseis. Para isso, foram realizadas análises micropaleontológicas e estratigráficas dos afloramentos, utilizando perfis verticais e compostos com as fácies descritas em campo. Os resultados mostraram que o Folhelho Lontras apresenta uma variação lateral e taxonômica dos bioclastos, que pode estar relacionada aos diferentes eventos glaciais e transgressões marinhas que ocorreram durante o Paleozoico Superior na Bacia do Paraná. O Folhelho Lontras se destaca como um marcador estratigráfico regional, que permite a correlação entre os afloramentos da região estudada. E por fim, a micropaleontologia foi aplicada para auxiliar na identificação da continuidade lateral do Folhelho Lontras

sugerindo que o mesmo ocorre como o último folhelho negro proeminente antes da progradação deltaica da Formação Rio Bonito.

## ABSTRACT

The Lontras Shale is a deposit unit of the Itararé Group, of the Paraná Basin, that records glacial events and marine transgressions of the Upper Paleozoic. This shale is considered a *Fossil Lagerstätte*, that contains a diversity of microfossils that indicate paleoenvironmental and paleoclimatic conditions distinct from the other units of Itararé Group. The objective of this work was to investigate the microfossil content of the Lontras Shale along the outcrops of Mafra, Alfredo Wagner and Doutor Pedrinho, using the microfossils as tools to assist in the paleoenvironmental interpretations and stratigraphic correlations of the Lontras Shale with other deposits where there is no presence of macrofossils. For this, micropaleontological and stratigraphic analyses of the outcrops were carried out, using vertical and composite profiles with the facies described in the field. The results showed that the Lontras Shale presents a lateral and taxonomic variation of the bioclasts that may be related to the different glacial events and marine transgressions occurred during the Upper Paleozoic in the Paraná Basin. The Lontras Shale stands out as a regional stratigraphic marker that allows for correlation between the outcrops of the three studied regions. Micropaleontology was applied to assist in the identification of the lateral continuity of the Lontras Shale along the Paraná Basin, contributing to the advancement of scientific knowledge about this unit and its paleontological and geological content.

## INTRODUÇÃO

O Folhelho Lontras é um depósito sedimentar do Grupo Itararé, da Bacia do Paraná, que registra eventos glaciais e transgressões marinhas do Paleozoico Superior da Bacia do Paraná. Esta depósito é considerada uma *Fossil Lagerstätte* (Mouro et al., 2021), pois apresenta uma grande diversidade e preservação excepcional de fósseis de vertebrados (Malabarba, 1988; Hamel, 2005), invertebrados (Adami-Rodrigues et al., 2012; Martins-Neto, 2005; Pinto & Sedor, 2000; Ricetti et al., 2016; Mouro et al., 2014, 2016; Oliveira, 1930; Neves et al., 2017; Mouro, 2017), plantas (Gnaedinger et al.,

2012; Urban et al., 2012), icnofósseis (Müller et al., 2017) e microfósseis (Kallen et al., 2014, Wilner et al., 2016; Scomazzon et al., 2013; Silva et al., 2023, no prelo) na região da Cidade de Mafra em Santa Catarina. Porém este mesmo folhelho se estende por grande parte da borda leste da Bacia do Paraná e não apresenta o mesmo conteúdo fossilífero (Mouro et a 2021, Silva et al. 2023).

Por toda sua extensão na bacia, este depósito é identificado como um folhelho escuro com o pico radioativo mais alto antes da progradação deltaica da Formação Rio Bonito. O Folhelho Passinho, localizado acima do Folhelho Lontras, é considerado parte dos estratos lamosos prodeltaicos da Formação Rio Bonito (Schemiko et al., 2022). Vários estudos documentaram esses folhelhos e suas correlações estratigráficas (e. g Vesely e Assine 2006, Santos et al., 1996; Daemon & Quadros, 1970; Rocha-Campos & Rösler 1978; Vesely, 2006 e Schemiko et al., 2022). No entanto, algumas fontes sugerem que o Folhelho Lontras está situado um pouco acima do embasamento Pré-Cambriano (e. g Fallgatter e Paim, 2017), nas regiões de Alfredo Wagner, precedendo a progradação deltaica da Formação Rio Bonito, mas isso não é necessariamente o caso. De acordo com a abordagem apresentada em Buso et al. (2017; 2020) e Schemiko et al. (2022) em vez disso, o Folhelho Lontras é reconhecido como o último folhelho negro proeminente antes da progradação deltaica da Formação Rio Bonito.

Diante desse cenário, esta pesquisa buscou investigar o conteúdo microfossilífero do Folhelho Lontras ao longo dos afloramentos de Mafra, Alfredo Wagner e Doutor Pedrinho. O objetivo foi utilizar os microfósseis como ferramentas para auxiliar nas interpretações paleoambientais e nas correlações estratigráficas do Folhelho Lontras com outros depósitos onde não há a presença de macrofósseis. Os resultados obtidos contribuíram para o avanço do conhecimento científico sobre o Folhelho Lontras e sua importância paleontológica e geológica.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Paraná tem uma grande área e se localiza no sudeste da América do Sul, abrangendo seis sequências separadas por discordâncias que

ocorrem em toda a região (Milani, 1997). A parte mais espessa da sua sucessão estratigráfica é a do Paleozoico Superior, que contém unidades depositadas em ambientes desde continentais até marinhos, onde se encontra o Grupo Itararé (Castro, 1991; D'Ávila, 2009). Depósitos marinhos predominam no Grupo Itararé, que têm mais de 1300 m de espessura e foi formado por fases sucessivas de deglaciação (Vesely & Assine, 2006, Buso et al., 2017, 2020; Fallgatter e Paim, 2017). Schneider et al. (1974) dividiram este grupo nas formações Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul, da base para o topo, que correspondem às formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba na revisão de França & Potter (1988), adotada depois por Milani et al. (2007). Esta pesquisa engloba principalmente estratos da Formação Mafra e Rio do Sul, nas regiões de Mafra, Alfredo Wagner e Doutor Pedrinho, como visto na Figura 1.

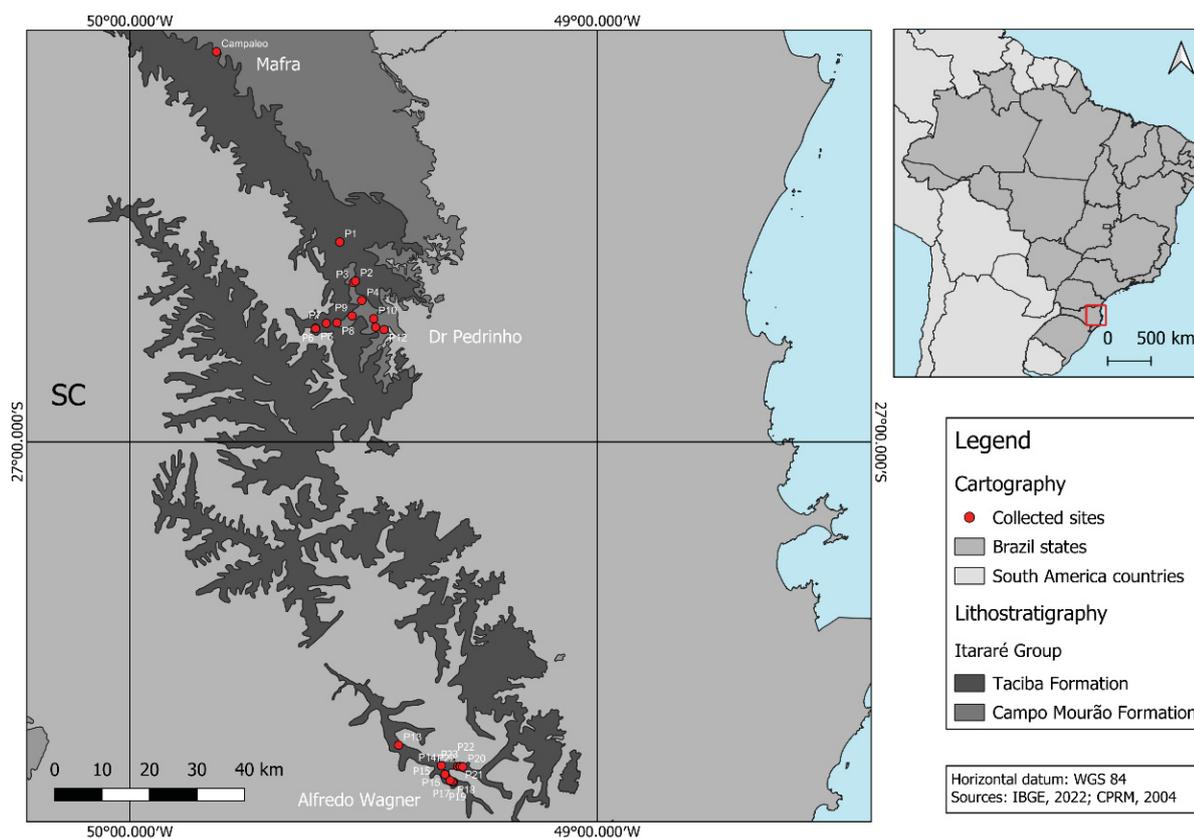


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Pontos em vermelho correspondem aos afloramentos onde amostras de folhelho foram coletadas.

De acordo com Weinschütz & Castro (2005), a região de Mafra está sob a Formação Mafra superior e a Formação Rio do Sul inferior (Folhelho Lontras) que constituem uma sequência deposicional bem definida. Essa

sequência corresponde à parte superior da Formação Campo Mourão, segundo a proposta litocronoestratigráfica de França & Potter (1988), enquanto a sequência Maфра inferior\Maфра médio, proposta por Weinschütz & Castro (2005), corresponde à parte inferior da mesma formação. A Formação Maфра superior apresenta uma espessura estimada de 80m na seção aflorante e é dominada por arenitos, com diamictitos e ritmitos subordinados na parte superior. Nessa formação, são reconhecidas três unidades deposicionais: arenito inferior, arenito superior e arenito-diamictito-ritmito. O arenito inferior é composto por duas associações faciológicas arenosas e duas lamítico-arenosas, que mostram evidências de influência glacial na sua deposição, como diamictitos, clastos caídos, *drapes* de argila, microfalhas e brechas associadas, além de variações verticais rápidas de textura. O arenito superior é formado por três associações faciológicas, que variam desde conglomerados até arenitos muito finos. A primeira associação faciológica sugere deposição em canal fluvial, seguida por um afogamento progressivo e uma agradação posterior que resultam na sedimentação deltaica das outras associações faciológicas. A unidade arenito-diamictito-ritmito consiste em dois intervalos com afinamento ascendente progressivo, interpretados como eventos de deglaciação. A Formação Rio do Sul inferior (Folhelho Lontras) é composta por duas unidades: uma transgressiva basal que se sucede e termina a última deglaciação, e uma marinha plataformal que representa o trato de mar alto.

Em Alfredo Wagner, Fallgater & Paim (2017) mapearam a região e descreveram que os estratos registram três ciclos glaciais durante o Paleozoico Superior. O primeiro ciclo glacial é caracterizado por uma fase de avanço do gelo sob o substrato pré-cambriano, gerando formas de erosão subglacial, como vales lineares. Essas formas indicam uma geleira de base quente que esculpiu o embasamento granítico. Na fase de recuo do gelo, ocorreu um evento de inundação marinha que preencheu os vales glaciais com uma unidade de folhelho negro sem *dropstones*, denominada Folhelho Lontras. Essa unidade é um importante marcador estratigráfico na bacia, pois pode representar o período de maior nível do mar dentro do intervalo estudado. O Folhelho Lontras também registra uma melhoria do clima e a presença de vegetação terrestre e algas. O segundo ciclo glacial é o mais completo e mostra tanto as fases de crescimento quanto de recuo da geleira do vale. A

fase de crescimento é marcada por uma queda relativa do nível do mar e pela deposição de turbiditos hiperpícnicos sob o Folhelho Lontras. Esses turbiditos indicam a erosão fluvial de uma paisagem vegetada e a formação de uma planície e delta proglaciais entre a margem do gelo e as águas marinhas do fiorde. A fase de declínio não apresenta evidências de influência glacial direta, mas mostra uma sedimentação deltaica em águas rasas. O terceiro ciclo glacial é incompleto e só registra a fase de crescimento da geleira do vale. Essa fase é similar à do segundo ciclo, com a deposição abrupta de turbiditos sob o Folhelho Lontras. Esses turbiditos podem ter sido gerados por correntes turbidíticas desencadeadas pela sobrecarga das areias da frente deltaica. O texto ressalta a relevância do Folhelho Lontras como um registro da evolução paleoclimática e paleoambiental da bacia durante os eventos glaciais.

Segundo Buso et al. (2017), a área de Doutor Pedrinho compreende dois dos principais ciclos glaciais (II e III) previamente identificados em subsuperfície por França e Potter (1988), que são limitados pelo Folhelho Lontras. Buso et al. (2017), reconheceram às formações Campo Mourão (parte média a superior) e Taciba do Grupo Itararé. A sucessão tem até 350m de espessura e é composta principalmente por folhelhos, com ou sem *dropstones*, mas também inclui arenitos e conglomerados de clastos e matriz suportados. Esse pacote registra principalmente a deposição proglacial-marinha, incluindo detritos transportados pelo gelo; ritmitos finos similares a varvitos; folhelhos negros maciços e várnicos; turbiditos arenosos e delgados; fácies de leque subaquoso de degelo; e depósitos caóticos derivados de fluxos de detritos e massa. Segundo Aquino et al. (2016), o Grupo Itararé nesta área pode ser subdividido em três sequências deposicionais, cada uma composta por depósitos marinhos a deltaicos influenciados pelo gelo, e é sobreposta discordantemente pela Formação Rio Bonito pós-glacial. Cada sequência deposicional representa um subciclo glacial registrado por fácies deglaciais depositadas durante o recuo do gelo acima de uma superfície de sequência. Essas superfícies basais são caracterizadas por feições deformacionais ou de escavação relacionadas ao avanço glacial (Aquino et al., 2016) e/ou mudança abrupta de fácies causada por uma queda relativa do nível do mar associada a um avanço glacial menos expressivo (D'Ávila, 2009; Fallgatter, 2015).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa consistiu em duas etapas principais: trabalho de campo e análise de laboratório. No trabalho de campo, os afloramentos foram descritos baseados nos métodos de Tucker (2011). Após a descrição sedimentológica, foi selecionado o Folhelho Lontras de Maфра como folhelho tipo para a identificação de microfácies a serem comparadas com os outros depósitos. Nesse folhelho, foram coletadas 12 amostras com espaçamento médio de 10 cm em um afloramento de 110 cm, conforme descrito em Silva et al. (2023, no prelo). Nos afloramentos de Doutor Pedrinho e Alfredo Wagner, foram coletadas amostras de 1 kg por afloramento, totalizando 23 amostras.

Na análise de laboratório adotou-se os métodos propostos por Green (2001), onde os microfósseis foram extraídos a partir do uso de peróxido de hidrogênio com concentração de 15%. O resíduo foi triado em fração total, em peneiras granulométricas de malhas 420 $\mu$ m, 400 $\mu$ m, 297 $\mu$ m e 149 $\mu$ m. Após a triagem, 25 espécimes foram separados para análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

## RESULTADOS

A partir da análise dos materiais encontrados nos folhelhos estudados, foram recuperados os bioclastos descritos na Tabela 1. Os afloramentos estudados estão descritos como P1 à P23. Na Tabela 1 constam apenas os afloramentos que possuíam folhelhos que foram amostrados.

Table 1. Quantification of the stratigraphic distribution of bioclasts on studied area

| Region         | Outcrop  | Amorphous bioclast | Phytoclasts | <i>Saccamina</i> sp. | <i>Ammobaculies</i> sp. | <i>Psammosphaera irregularis</i> | Fecal Pellets |
|----------------|----------|--------------------|-------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|
| Mafra          | Campáleo |                    | 156         | 45                   | 49                      | 53                               | 53            |
|                | P5       | 35                 | 1           |                      |                         |                                  |               |
| Dr Pedrinho    | P6       |                    | 14          |                      |                         |                                  |               |
|                | P9       | 2                  |             |                      |                         |                                  |               |
|                | P13      |                    | 6           | 5?                   |                         |                                  |               |
| Alfredo Wagner | P15      |                    | 1           |                      |                         |                                  |               |
|                | P20      |                    | 3           |                      |                         |                                  |               |

Os bioclastos encontrados na área estudada apresentam uma distribuição heterogênea, tanto espacial quanto taxonômica. A região de Maфра, representada pelo afloramento Campáleo, é a que possui maior diversidade e abundância de bioclastos, com cinco tipos diferentes e um total de 356 bioclastos. Nessa região, os fitoclastos, *Saccamina* sp., *Ammobaculites* sp., *Psammosphaera irregularis* e pellets fecais ocorrem em quantidades semelhantes, variando entre 45 e 53 bioclastos cada. Os detalhes taxonômicos desses microfósseis podem ser consultados em Silva *et al.* (2023, no prelo).

A região de Doutor Pedrinho, representada pelos afloramentos P5, P6 e P9, é a que possui menor diversidade e abundância de bioclastos, com apenas dois tipos diferentes, e um total de 52 bioclastos. Nessa região, os fitoclastos (Figura 2A, B) ocorrem em menor quantidade, com apenas 15 espécimes. Os demais bioclastos foram classificados como amorfos devido à sua preservação precária.

A região de Alfredo Wagner, representada pelos afloramentos P13, P15 e P20, possui uma diversidade intermediária de bioclastos, com dois tipos diferentes, mas uma baixa abundância, com um total de 15 bioclastos. Nessa região, os fitoclastos são os mais frequentes, com 10 bioclastos, seguidos por *Saccamina* sp? (Figura 2D), com 5 bioclastos.

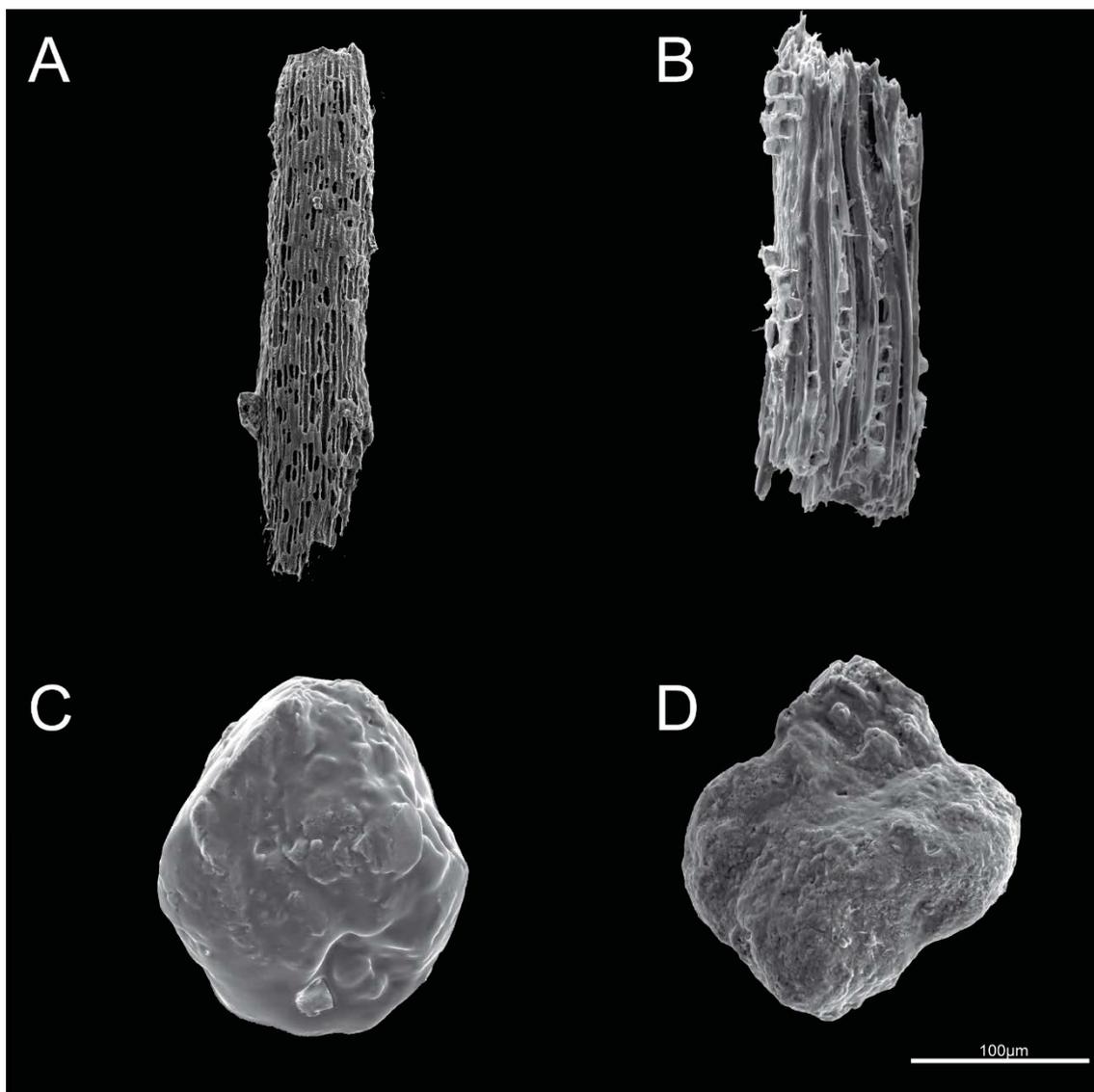


Figura 2 – Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura. A-B Fitoclastos encontrados na região de Doutor Pedrinho, zoom de 600x. C – Matéria orgânica amorfa encontrada na região de Doutor Pedrinho no afloramento P6, aumento de 1000x. D – *Saccamina* sp? encontrada na região de Alfredo Wagner, zoom de 1200x.

### Perfis Verticais e Correlação Estratigráfica

Em paralelo às análises micropaleontológicas, foi realizada a construção de perfis verticais com as fácies descritas em campo, além de perfis compostos com os afloramentos que apresentavam continuidade estratigráfica regional. A partir dos perfis compostos, foi construída uma correlação utilizando o Folhelho Lontras como *datum* (Figura 3).

Na região de Alfredo Wagner, foram identificados folhelhos na base do perfil que apresentam alguns microfósseis semelhantes aos do Folhelho

Lontras de Mafra (Figura 3). Mais especificamente, foram identificados microfósseis nos folhelhos nos pontos 13, 15 e 20. E entre esses depósitos, o mais similar com o Folhelho Lontras de Mafra foi o ponto 13, devido à presença de fitoclastos e *Saccamina* sp?.

Em Doutor Pedrinho, foi observado o contato entre as Formações Mafra e Rio do Sul. Além disso, foram identificados microfósseis nos folhelhos dos pontos 5, 6, 8 e 9. E entre essas assembleias, a mais similar ao Folhelho Lontras foi o depósito do ponto 6. Desta forma, utilizando o Folhelho Lontras como *datum*, foram correlacionados o Folhelho Lontras de Mafra com os pontos 2 e 6 de Doutor Pedrinho e com o ponto 13 de Alfredo Wagner, como visto na Figura 3.

## DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos, as análises micropaleontológicas e estratigráficas mostram que a área estudada registra uma variação espacial e preservacional dos bioclastos, relacionada aos diferentes ciclos glaciais que afetaram a Bacia do Paraná durante o Paleozoico Superior (Buso et al. 2020). Além disso, é notável que o Folhelho Lontras se destaca como um marcador estratigráfico regional, que permite a correlação entre os afloramentos das três regiões amostradas nesse estudo assim como nos trabalhos de Daemon & Quadros, (1970), Rocha-Campos & Rösler, (1978), Santos et al., (1996), Vesely, (2006), Vesely & Assine, (2006), Buso et al., (2017, 2020), Schemiko et al., (2022). Esse folhelho contém uma diversidade de microfósseis que indicam condições paleoambientais distintas das demais unidades do Grupo Itararé, principalmente na região de Mafra.

A distribuição dos bioclastos e preservação diferencial dos microfósseis reflete uma possível influência glacial direta ou indireta na deposição dos sedimentos. Por exemplo, na região de Mafra, foram encontrados cinco tipos diferentes de bioclastos, com um total de 356 espécimes, sugerindo uma maior diversidade biológica e uma menor ação glacial nessa região. Já na localidade de Doutor Pedrinho, foram encontrados apenas dois tipos de bioclastos, com um total de 52 espécimes, indicando uma menor diversidade biológica e uma possível maior ação glacial nessa região. Na região de Alfredo Wagner, foram

encontrados três tipos de bioclastos, com um total de 15 espécimes, mostrando uma abundância biológica intermediária e uma preservação precária dos microfósseis neste depósito.

CAMPÁLEO

DR PEDRINHO

ALFREDO WAGNER

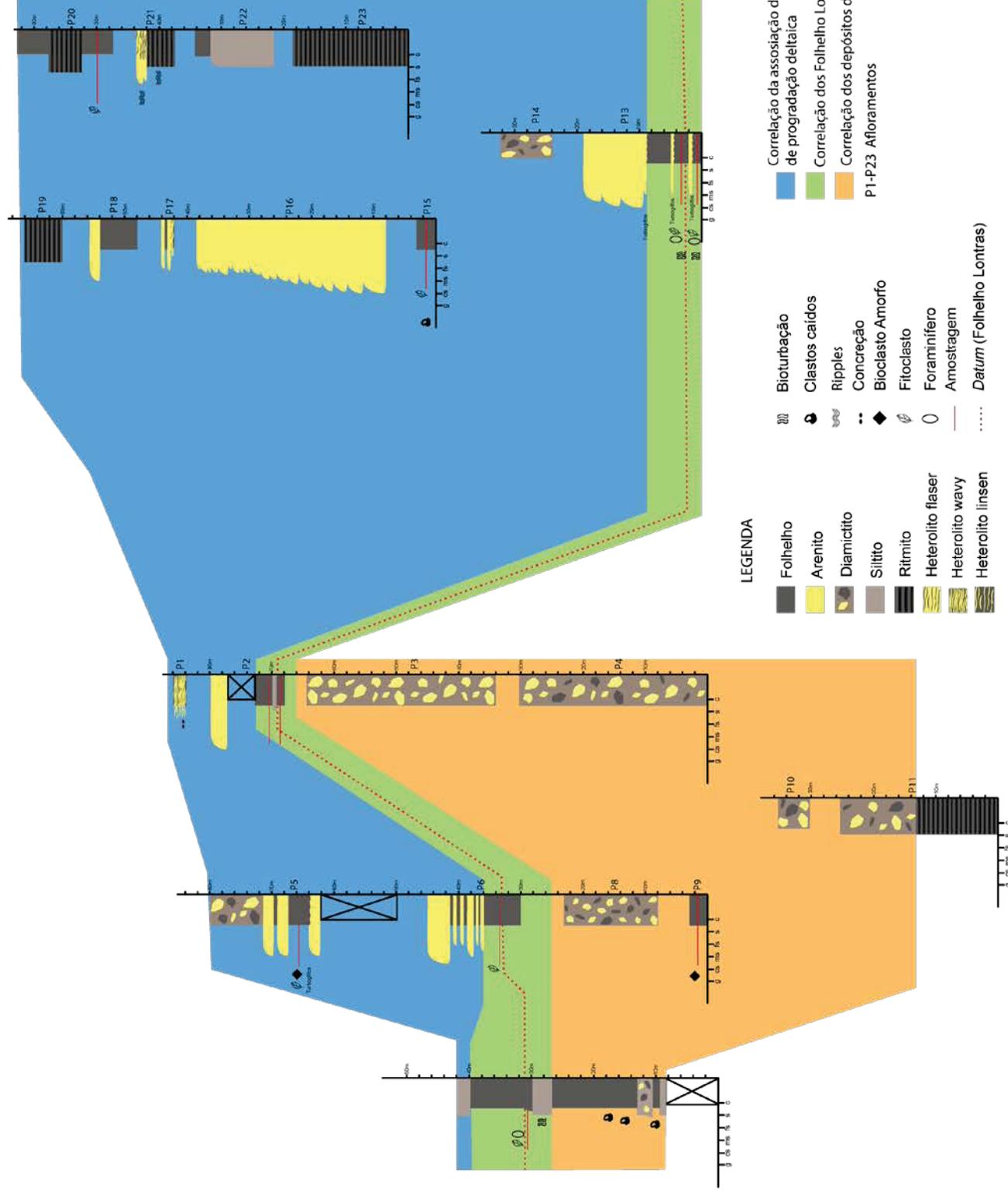


Figura 3 - Correlação estratigráfica da região de Mafra, Doutor Pedrinho e Alfredo Wagner SC, utilizando o Folhelho Lontras e seu conteúdo microfossilífero como datum.

Na literatura (e.g. Schemiko et al., 2022 e Fallgatter e Paim, 2017), observam-se algumas divergências em relação ao reconhecimento do Folhelho Lontras, pois outros folhelhos negros apresentam características físicas similares e podem ser confundidos com ele, como por exemplo, o Folhelho Passinho. Neste trabalho, a micropaleontologia foi aplicada para auxiliar na identificação da continuidade lateral do Folhelho Lontras ao longo da Bacia do Paraná.

## CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos nesta pesquisa, é possível afirmar que:

- O Folhelho Lontras apresenta uma variação espacial (horizontal) e taxonômica dos bioclastos, que pode estar relacionada aos diferentes eventos glaciais e transgressões marinhas que ocorreram durante o Paleozoico Superior na Bacia do Paraná.
- Os dados da micropaleontologia reforçam o uso do Folhelho Lontras como um marcador estratigráfico regional, que permite a correlação entre os afloramentos das três regiões estudadas: Mafra, Doutor Pedrinho e Alfredo Wagner.
- A correlação entre os afloramentos, subsidiada pelos microfósseis encontrados nos folhelhos, reforça que o Folhelho Lontras pode ser descrito como o último folhelho negro proeminente antes da progradação deltaica da Formação Rio Bonito.

Por fim, este estudo espera contribuir para que futuros trabalhos explorem ainda mais a micropaleontologia deste folhelho em outras regiões da Bacia do Paraná, buscando ampliar o conhecimento sobre a diversidade, a distribuição e a preservação dos microfósseis presentes nessa unidade. Além disso, espera-se que futuros trabalhos possam integrar os dados micropaleontológicos com outras abordagens geológicas, como a geoquímica, a sedimentologia e a estratigrafia, para uma melhor compreensão da evolução paleoambiental e paleoclimática do Folhelho Lontras e de sua relação com os eventos glaciais e transgressões marinhas que afetaram a Bacia do Paraná durante o Paleozoico Superior.

## REFERÊNCIAS

- Adami-Rodrigues, K.P., Pazinato P.G., Correa, R. C. Ricetti, J. H. Z., Weinschutz, L. C. 2012. Malacostraca da Formação Rio do Sul, Grupo Itararé, Bacia do Paraná, Mafra, SC, Brasil. In: Ghilardi, R. P. & Scheffler, S. M. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEOINVERTEBRADOS, 1., Bauru, 2012. Boletim de Resumos. Bauru, UNESP.
- Aquino C.D., Valdez B.V., Faccini U.F., Milana J.P., Paim P.S.G. 2016. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.02.008>
- Buso, V. V.; Aquino, C. D.; Paim, P. S. G.; Souza, P. A. S.; Mori, A. L.; Fallgatter C.; Juan Milana J. P.; Kneller B. 2017. Late Palaeozoic Glacial Cycles and Subcycles in Western Gondwana: Correlation of Surface and Subsurface Data of the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Global events of the Late Devonian to Early Permian*, 531, 108435. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.09.004>.
- Buso, V. V.; Milana J. P.; Pasquo M.; Paim, P. S. G.; Philipp R. P.; Aquino, C. D.; Cagliari, J.; Farid Junior, F. C.; Kneller B. 2020. "Timing of the Late Palaeozoic Glaciation in Western Gondwana: New Ages and Correlations from Paganzo and Paraná Basins". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 544): 109624. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109624>.
- Castro J.C. 1991. A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do Sul e Rio Bonito/Mb. Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná. Rio Claro. Thesis, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 147 p
- Daemon R.F., Quadros L.P. 1970. Bioestratigrafia do Neopaleozoico da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 24, 1970, Brasília. Anais... Brasília: SBG, 1, p. 359-412.
- D'Avila, R. S. F. 2009. 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". Tese de Doutorado.

- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Geologia. 2009. <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/9698>
- Fallgatter, C. Sistemas turbidíticos em ambientes confinados e desconfiados das bacias do Paraná (Brasil) e Paganzo (Argentina) 2015. 208p. Tese doutorado em Geologia – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Geologia. 2015.
- Fallgatter, C. & Paim P. S. G. 2017. On the Origin of the Itararé Group Basal Nonconformity and its Implications for the Late Paleozoic Glaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 531. 108225. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.02.039>.
- França, A. B. & Potter P. E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1)”. *Boletim de Geociências da PETROBRAS* 2 (1988): 147–91.
- Gnaedinger, S. K. Kloster, A. C., Adami-Rodrigues, K., Urban, C. & Scomazzon, A. K. 2012. Permineralized Woods from Upper Carboniferous – Lower Permian of the Itararé Group, Brazil. In: ENCONTRO PANAMERICANO DA IAWA, Recife. Anais. Recife, p. 58-59.
- Green O.R. 2001. Practical laboratory and field techniques in Palaeobiology. Springer Science & Business Media, Washington, 538p.
- Hamel, M. H. 2005. A new actinopterygian from the Early Permian of the Paraná Basin, Brazil. *J. Vertebrate Paleontology*, 25(1): 19-26.
- Kallen, C. V. D. Scomazzon, A. K., Urban, C. & Adami-Rodrigues, K. 2014. Novo registro de ostracodes do Grupo Itararé, Formação Taciba, Membro Rio do Sul, Mafra, Santa Catarina. In: 23º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. Anais. Pelotas, p. 32.
- Malabarba, M. C. S. L. 1988. A new genus and species of stem group actinopteran fish from the Lower Permian of Santa Catarina State, Brazil. *Zool. J. Linnean Soc.*, 94: 287-299.
- Martins-Neto, R. G. 2005. Estágio atual da paleoartropodologia brasileira: hexápodes, miriápodes, crustáceos (Isopoda, Decapoda, Eucrustacea e Copepoda) e quelicerados. *Arquivos do Museu Nacional*, 63(3): 471-494.
- Milani, E. J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 1997. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Milani, E. J.; França, A. B.; Schneider, R. L. 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.
- Mouro, L. D. 2017. Paleoeecologia do Folhelho Lontras, Formação Campo Mourão, Cisuraliano, Brasil. Rio de Janeiro, 213p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Mouro, L. D. Ricetti J. H. Z., Weinschütz L. C. & Pacheco M. L. A. F. 2021. Folhelho Lontras, uma Lagerstätte do Paleozoico brasileiro. In Contribuições a Geologia do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 209-228. Andréa Ritter Jelinek & Carlos Augusto Sommer, 2021 – Sociedade Brasileira de Geologia - Porto Alegre: Compsso Lugar-Cultura.
- Mouro, L. D., Fernandes, A. C. S., Rogério, D. W. & Fonseca, V. M. M. 2014. First articulated sponge from the Paleozoic of Brazil, and a new organization of the Order Hemidiscosa. J. Paleontol., 88(1): 171-178.
- Mouro, L. D., Zaton, M., Fernandes, A. C. S. & Waichel, B. L. 2016. Larval cases of caddisfly (Insecta: Trichoptera) affinity in Early Permian marine environments of Gondwana. Nature Scientific Report, 6: 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep19215>
- Muller, C., Mouro, L. D., Silva, M. S. & Vieira, L. D. 2017. Coprolites of Campaleo outcrop, Lontras Shale, Campo Mourão Formation, in Mafra-SC. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 1, Ribeirão Preto. Boletim de Resumos. Ribeirão Preto, p. 211.
- Neves, J. P. Taboada, A. C., Weinschütz, L. C. & Simões, M. G. 2017. Brachiopods of the Itararé Group from Mafra County, Southern Brazil, and their geological significance. In: Langer, M. A., Al Halabi, W. A., Ferreira, G. S., Hermanson, G., Marsola, J. C. A. & Onary-Alves, S. Y. Paleontologia em Destaque, ano 32 (Edição Especial): 222.
- Oliveira, E. P. 1930. Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná. Rio de Janeiro, 127p. Monografia, Serviço de Geologia e Mineralogia.
- Pinto, I. D. & Sedor, F. A. 2000. A new Upper Carboniferous Blattoid from Mafra Formation Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. Pesquisa em Geociências, 27: 45-48.
- Ricetti, J. H. Z. Schneider, J. W., Iannuzzi, R. & Weinschütz, L. C. 2016. *Anthracoblattina mendesi* Pinto and Sedor (Blattoidea, Phyloblattidae): the most

- completely preserved South American Palaeozoic cockroach. *Rev. Brasil. Paleontol.*, 19: 181-194.
- Rocha-Campos A.C., Rösler O. 1978. Late Paleozoic faunal and floral successions in the Paraná Basin, southeastern Brazil. *Boletim IG. Instituto de Geociências, USP*, 9:1-16
- Santos P.R., Rocha-Campos A.C., Canuto J.R. 1996. Patterns of Late Palaeozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 125(1-4):165-184. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(96\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(96)00029-6).
- Schemiko, D. C. B.; Vesely, F. F.; Rodrigues, M. C. N. de L. 2022. Late Paleozoic Glacial to Postglacial Stratigraphic Evolution of the Rio Do Sul Depocenter, Itararé and Guatá Groups, Pennsylvanian-Cisuralian, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology* 52 (2022): e20220027. <https://doi.org/10.1590/2317-4889202220220027>.
- Schneider, R.L.; Mühlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R.A.; Daemon, R.F.; Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, RS. *Anais...S.B.G.*, v.1, p. 41-65, 1974.
- Silva, D. C.; Schemiko, D. C. B.; Pietsch, J. P. C; Vega, C. S. 2023. Paleoenvironmental variations indicated by microfossils in the Upper Paleozoic konservat-lagerstätte of the Paraná Basin, Santa Catarina, Brazil. *Journal of South America Earth Science*. No prelo.
- Scomazzon, A. K., Wilner, E., Purnell, M. A., Nascimento, S., Weinschütz, L. C., Lemos, V. B., de Souza, F. L. & da Silva, C. P. 2013. First report of conodont apparatuses from Brazil – Permian of Paraná Basin, Itararé Group, Lontras Shale – Evidence of Gondwana deglaciation. In: CONODONT FROM THE ANDES. 3th INTERNATIONAL CONODONT SYMPOSIUM. *Paleontological Note, (Publicación Especial 13)*: 99-102.
- Tucker, M.E. 2011. *Sedimentary Rocks in the Field: A Practical Guide*. 4th Edition, John Willey and Sons Ltd., Chichester, 85-104.
- Urban, C. Gnaedinger, S., Rodrigues, K. A. & Scomazzon, A. K. 2012. Primeiro Registro de maderas fósiles del Grupo Itararé, Carbonífero Superior-Pérmico Inferior, Brasil. In: II SIMPÓSIO ARGENTINO DE MELISOPALINOLOGIA, Buenos Aires. *Anais*. Buenos Aires, p. 126.

- Vesely F.F. 2006. Dinâmica sedimentar e arquitetura estratigráfica do Grupo Itararé (Carbonífero-Permiano) no centro-leste da Bacia do Paraná. Thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 226 p.
- Vesely, F. F. & Assine L. M. 2006. Deglaciation sequences in the Permo-Carboniferous Itararé Group, Paraná Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Comparison between intracratonic and active margin 4 basins: Examples from the Late Paleozoic of western Gondwana, 22, no 3–4: 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.09.006>.
- Wilner, E., Lemos, V. B. & Scmazzon, A. K. 2016. Associações naturais de conodontes *Mesogondolella* spp., Grupo Itararé, Cisuraliano da Bacia do Paraná. *GAEA J. Geosci.*, 9(1): 30-36.
- Weinschütz, L. C. & Castro J. C. 2005. A seqüência mafra superior \ Rio Do Sul inferior (Grupo itararé, permocarbonífero) em sondagens testemunhadas da região de mafra (SC), Margem Leste da Bacia do Paraná. *Geociências*, 131–41.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta Tese de Doutorado teve como objetivo refinar o paleoambiente do Folhelho Lontras na cidade de Maфра e utilizar essa localidade como área-tipo para comparar com folhelhos de outras localidades, como Alfredo Wagner e Doutor Pedrinho, utilizando microfósseis e fitoclastos como *proxies*. Os resultados obtidos permitiram caracterizar a variação geográfica e morfológica dos microfósseis presentes no Folhelho Lontras, bem como inferir as condições paleoambientais que afetaram a deposição e a preservação dos fósseis nessa unidade. Além disso, os dados de microbiota permitiram estabelecer a correlação estratigráfica entre os afloramentos estudados e identificar o Folhelho Lontras como um marcador regional na Bacia do Paraná. Neste sentido conclui-se que a aplicação da micropaleontologia foi fundamental para alcançar os objetivos propostos e contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre o Folhelho Lontras e sua importância paleontológica e geológica.

## 6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos nesta Tese, sugere-se que futuros trabalhos possam explorar ainda mais o potencial da micropaleontologia para o estudo do Folhelho Lontras em outras regiões da Bacia do Paraná, buscando ampliar o conhecimento sobre a diversidade, a distribuição e a preservação dos microfósseis presentes nessa unidade. Além disso, sugere-se que futuras pesquisas possam integrar os dados micropaleontológicos com outras abordagens geológicas, como a geoquímica, e a palinologia, para uma melhor compreensão da evolução paleoambiental, paleoclimática e paleogeográfica do Folhelho Lontras e de sua relação com os eventos glaciais e transgressões marinhas que afetaram a Bacia do Paraná durante o Paleozoico Superior. Por fim, sugere-se que futuros trabalhos possam divulgar a micropaleontologia como uma ferramenta útil e relevante para o estudo do Folhelho Lontras e de outras unidades sedimentares da Bacia do Paraná.

## REFERÊNCIAS

- ADAMI-RODRIGUES, K. P.; PAZINATO, P. G.; CORREA, R. C.; RICETTI, J. H. Z.; WEINSCHUTZ, L. C. **Malacostraca da Formação Rio do Sul, Grupo Itararé, Bacia do Paraná, Mafra, SC, Brasil.** *In: GHILARDI, R. P.; SCHEFLER, S. M. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEOINVERTEBRADOS. Boletim de Resumos. Bauru, UNESP. 2012.*
- ARAB, P. B.; PERINOTTO, J. A. DE J.; ASSINE, M. L. Grupo itararé (P - C da bacia do Paraná) nas regiões de Limeira e Piracicaba - SP: Contribuição ao estudo das litofácies. *Geociências*, v. 28, p. 501–521, 2009.
- ARMSTRONG, H. A.; BRASIER, M. D. **Microfossils**, 2nd ed.: viii + 296 pp. Malden, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing. 2005. *In: Geological Magazine* 2006; 143 (3): 411.
- BUSO V. V.; AQUINO, C. D.; PAIM, P. S. G.; SOUZA, P. A.; MORI, A.L.; FALLGATER C.; MILANA, J. P.; KNELLER, B. **Late Palaeozoic glacial cycles and subcycles in western Gondwana: Correlation of surface and subsurface data of the Paraná Basin, Brazil.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2017.
- BUSO, V. V., MILANA, J. P.; DI PASQUO, M.; PAIM, P. S. G.; PHILIPP, R. P.; AQUINO, C. D.; CAGLIARI, J.; CHEMALE JUNIOR, F; KNELLER, B. **Timing of the Late Palaeozoic Glaciation in Western Gondwana: New Ages and Correlations from Paganzo and Paraná Basins.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 544: 109624. 2020.

CAGLIARI, J., PHILIPP, R. P., VALDEZ, B. V., NETTO, R. G., HILLEBRAND, P., LOPES, C. R., BASEI, M. A. S. & FACCINI, U. F. **Age constraints of the glaciation in the Paraná Basin: evidence from new U–Pb dates.** *J. Geol. Soc.*, 173: 871-874. 2016.

CAMPANHA, V. A.; SAAD, A. R.; GAMA JÚNIOR, E. G.; PULEGHINI FILHO, P. **A caracterização marinha do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1, Rio de Janeiro. *Boletim de Resumos*, p. 5. 1989.

CASTRO, J. C. **A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do Sul e Rio Bonito/Mb.** Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná. Tese, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 147p. 1991.

CASTRO, M. R.; PERINOTTO, J. A. J.; CASTRO, J. C. **Stratigraphic framework of Rio do Sul and Rio Bonito (Triunfo Member) formations in the Hercílio river valley (SC), Paraná basin (Early Permian).** Em Anais da Academia Brasileira de Ciências, 72:598–99, 2000.

DAEMON, R. F.; QUADROS, L. P. **Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24, Brasília. Anais, pp. 359-412. 1970.

D'ÁVILA, R. S. F. **Sequências deposicionais do Grupo Itararé (Carbonífero e Eopermiano), Bacia do Paraná, na área de Doutor Pedrinho e cercanias, Santa Catarina, Brasil: turbiditos, pelitos e depósitos caóticos.** Tese, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 245p. 2009.

DINO, R. & RÖSLER, O. **Significado estratigráfico e paleoambiental da palinoflora de concreções da Formação Rio do Sul (Neopaleozóico da Bacia do Paraná) na região de Mafra, SC.** *Revista Brasileira de Paleontologia*, 2: 148-149. 2001.

FALLGATTER, C. & PAIM P. S. G. **On the Origin of the Itararé Group Basal Nonconformity and its Implications for the Late Paleozoic Glaciation in the Paraná Basin, Brazil.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 531. 108225. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.02.039>. 2019.

FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. **Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1).** *Boletim de Geociências da PETROBRAS* 2 (1988): 147–91.

GNAEDINGER, S.; KLOSTER, A. C.; ADAMI-RODRIGUES, K.; URBAN, C.; SCOMAZZON, A. K. **Permineralized Woods from Upper Carboniferous – Lower Permian of the Itararé Group, Brazil.** In: ENCONTRO PANAMERICANO DA IAWA, Recife. Anais... Recife, p. 58-59. 2012.

GRIFFIS, N. P., MONTAÑEZ, I. P., FEDORCHUK, N., ISBELL, J., MUNDIL, R., VESELY, F., WEINSHULTZ, L., IANNUZZI, R., GULBRANSON, E., TABOADA, A., PAGANI, A., SANBORN, M. E., HUYSKENS, M., WIMPENNY, J., LINOL, B. & YIN, Q. Z. **Isotopes to ice: constraining provenance of glacial deposits and ice centers in west central Gondwana.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 531 (Part B): 108745. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.PALAEO.2018.04.020>. 2019.

GRIFFIS, N. P., MUNDIL, R., MONTAÑEZ, I. P., ISBELL, J., FEDORCHUK, N., VESELY, F., IANNUZZI, R. & YIN, Q. Z. **A new stratigraphic framework built on U-Pb single-zircon TIMS ages and implications for the timing of the penultimate icehouse (Paraná Basin, Brazil).** *GSA Bull.*, 130(5-6): 848-858. 2018.

HAMEL, M. H. **A new actinopterygian from the Early Permian of the Paraná Basin, Brazil.** *Journal of Vertebrate Paleontology.*, 25(1): 19-26. 2005.

HOLZ, M.; FRANÇA, A. B.; SOUZA, P. A.; IANNUZZI, R.; ROHN, R. **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* 29: 381–399. 2010.

IANNUZZI, R.; SOUZA, P. A. **Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-date overview.** *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, 30: 144–149. 2005.

KALLEN, C. V. D.; SCOMAZZON, A. K.; URBAN, C.; ADAMI-RODRIGUES, K. **Novo registro de ostracodes do Grupo Itararé, Formação Taciba, Membro Rio do Sul, Mafra, Santa Catarina.** In: 23º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. Anais. Pelotas, p. 32. 2014.

LANGE, F. W. **Revisão da fáunula marinha do folhelho Passinho.** *Dusenía*, 3(1): 81-91. 1952.

LANGE, F. W. **Estratigrafia e idade geológica da Série Tubarão.** *Arquivos do Museu Paranaense (Série Geologia)*, 2: 1-22. 1954.

LIMA, M. R.; SAAD, A. R.; CARVALHO, R. G.; SANIDS, P. R. **Foraminíferos arenáceos e outros fósseis do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico), Bacia do Paraná, Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, São Paulo. *Anais*, pp. 49-64. 1976.

Loeblich, A. R., & H. Tappan. 1988. *Foraminiferal Genera and Their Classification*. Boston, MA: Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-5760-3>.

MALABARBA, M. C. S. L. **A new genus and species of stem group actinopteran fish from the Lower Permian of Santa Catarina State, Brazil.** *Zool. J. Linnean Soc.*, 94: 287-299. 1988.

MARTINS-NETO, R. G. **Estágio atual da paleoartropodologia brasileira: hexápodes, miriápodes, crustáceos (Isopoda, Decapoda, Eucrustacea e Copepoda) e quelicerados.** *Arquivos do Museu Nacional*, 63(3): 471-494. 2005

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental.** Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 255p. 1997.

Milani, E. J.; França, A. B.; Schneider, R. L. **Bacia do Paraná.** Boletim de Geociências da PETROBRÁS, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MOTTIN, T. E.; VESELY, F. F.; RODRIGUES, M. C. N.; SOUZA, P. A. **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*, 490: 488-504. 2018.

MOURO, L. D.; FERNANDES, A. C. S.; ROGERIO, D. W.; FONSECA, V. M. **First Articulated Sponge from the Paleozoic of Brazil, and a New Organization of the Order Hemidiscosa.** *Journal of Paleontology* 88, no 1: 171–78. 2014.

MOURO, L. D.; HORODYSKI, R. S.; FERNANDES, A. C. S.; CARVALHO, M. DE A.; SCOMAZZON, A. K.; DA SILVA, M. S. **Sponges Taphonomy and Lower Permian Lontras Shale Taphofacies (Paraná Basin, Brasil).** Em XXV Congresso Brasileiro de Paleontologia, 2. Ribeirão Preto, 2017.

MOURO, L. D.; RICETTI, J. H. Z.; WEINSCHÜTZ, L. C.; PACHECO M. L. A. F. **Folhelho Lontras, uma Lagerstätte do Paleozoico brasileiro.** In *Contribuições a Geologia do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 209-228. Andréa Ritter Jelinek & Carlos Augusto Sommer, 2021 – Sociedade Brasileira de Geologia - Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura. 2021.

MOURO, L. D.; ZATÓN, M.; FERNANDES, A. C. S.; WAICHEL, B. L. **Larval Cases of Caddisfly (Insecta: Trichoptera) Affinity in Early Permian Marine Environments of Gondwana.** *Scientific Reports* 6. 2016.

NEVES, J. P.; ANELLI, L. E.; SIMÕES, M. G. **Early Permian post-glacial bivalve faunas of the Itararé Group, Paraná Basin, Brazil: paleoecology and biocorrelations with South American intraplate basins.** *Journal of South American Earth Sciences*, 52: 203–233. 2014.

OLIVEIRA, E. P. **Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná.** Rio de Janeiro, 127p. Monografia, Serviço de Geologia e Mineralogia. 1930.

PAULIPETRO. **Resultado final das análises do Poço Piratininga nº01 (1-PA-1-SP).** Relatório RT-028/81. São Paulo. 1981.

PAULIPETRO. **Relatório final das análises do Poço Estratigráfico Lagoa Azul nº01 (2-LA-1-SP).** Relatório RT-162/82. São Paulo. 1982.

- PETRI, S. & SOUZA, P. A. **Síntese dos conhecimentos e novas concepções sobre a bioestratigrafia do Subgrupo Itararé, Bacia do Paraná, Brasil.** *Rev. Inst. Geol.*, 14(2):718. 1993.
- PIGAO, S. G.; MOURO, L. D. **Identifying microfossils from Lontras shale horizon using petrographic thin-section.** In: XI SIMPOASIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Bento Gonçalves. Anais. . . Bento Gonçalves, v. 1, p. 235. 2019.
- PINTO, I. D. & SEDOR, F. A. **A new Upper Carboniferous Blattoid from Mafra Formation Itararé Group, Paraná Basin, Brazil.** *Pesquisa em Geociências*, 27: 45-48. 2000.
- PURNELL, M. A.; ALDRIDGE, R. J.; DONOGHUE, P. C. J.; GABBOTT, S. E. **Conodonts and the first vertebrates.** *Endeavour*, 19(1): 20-27. 1995.
- RICETTI, J. H. Z.; WEINSCHUTZ, L. C. **Ocorrência de escolecodontes (Annelida, Labidognatha) nas formações Mafra e Rio do Sul, Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná, Brasil.** In: Reunião Regional de Paleontologia dos estados do Paraná e Santa Catarina – PALEO, Cascavel. *Paleontologia em Destaque*, 64: 31–32. 2011.
- RICETTI, J. H. Z.; WILNER, E.; WEINSCHÜTZ, L. C. **Novos escolecodontes do contato Carbonífero-Permiano (Grupo Itararé) da Bacia do Paraná na cidade de Mafra, Santa Catarina.** In: XVI Encontro Regional de Paleontologia dos estados do Paraná e Santa Catarina – PALEO, Florianópolis. *Paleontologia em Destaque*, 68: 76-77. 2014.
- RICETTI, J. H. Z. SCHNEIDER, J. W., IANNUZZI, R. & WEINSCHÜTZ, L. C. ***Anthracoblattina mendesi* Pinto and Sedor (Blattoidea, Phylloblattidae): the most completely preserved South American Palaeozoic cockroach.** *Rev. Brasil. Paleontol.*, 19: 181-194. 2016.
- ROCHA-CAMPOS, A. C. **Moluscos permianos da Formação Rio Bonito.** *Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia*, 251: 89p. 1970.
- ROCHA-CAMPOS, A. C.; RÖSLER, O. **Late Paleozoic faunal and floral successions in the Paraná Basin, southeastern Brazil.** *Boletim IG-USP*, 9: 1-16. 1978.
- KRAFT, R. P., VESELY F. F., WEINSCHÜTZ L. C. **Depositional Sequences of the Itararé Group in the Region of Mafra (SC) and Their Regional Correlation.** *Anuário Do Instituto de Geociências* 45. [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_2022\\_45\\_48193](https://doi.org/10.11137/1982-3908_2022_45_48193).
- RÖSLER, O. **The Brazilian eogondwanic floral succession.** *Boletim IG-USP*, 9: 85-90. 1978.
- RUPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados.** 6ª ed. Roca, São Paulo, 1029p. 1996.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre. *Anais*, pp. 41-65. 1974.

SCOMAZZON, A. K.; WILNER, E.; PURNELL, M. A.; NASCIMENTO, S.; WEINSCHÜTZ, L. C.; LEMOS, V. B.; DE SOUZA, F. L.; DA SILVA, C. P. **First report of conodont apparatuses from Brazil – Permian of Paraná Basin, Itararé Group, Lontras Shale – Evidence of Gondwana deglaciation.** In: CONODONT FROM THE ANDES. 3<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONODONT SYMPOSIUM. Paleontological Note, (Publicación Especial 13): 99-102. 2013.

SCHEMIKO ET AL. 2019

SILVA, D. C.; VEGA, C. S.; VESELY, F. F.; PIETSCH, J. P. C. **Estado da arte do conhecimento dos fósseis e icnofósseis descritos na região sudeste do Grupo Itararé, Bacia do Paraná.** BOLETIM PARANAENSE DE GEOCIÊNCIAS, v. 77, p. 46-52, 2020.

SIMÕES, M. G.; NEVES, J. P.; ANELLI, L. E.; WEINSCHÜTZ, L. C. **Permian bivalves of the Taciba Formation, Itararé Group, Paraná Basin, and their biostratigraphic significance.** *Geologia USP, Série Científica*, 12: 71–82. 2012.

SOUZA, P. A. **Late carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil.** Review of Palaeobotany and Palynology, 138: 9-29. 2006.

SOUZA, P. A.; BOARDMAN, D. R.; PREMAOR, E.; FÉLIX, C. M.; BENDER, R. R.; OLIVEIRA, E. J. **The Vittatina Costabilis Zone Revisited: New Characterization and Implications on the Pennsylvanian-Permian Icehouse-to-Greenhouse Turnover in the Paraná Basin, Western Gondwana.** Journal of South American Earth Sciences 106 (1o de março de 2021): 102968. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102968>.

SOUZA, S. H. M.; DISARÓ, S. T.; RÖSLER, O.; WEINSCHÜTZ, L. C. **Foraminíferos aglutinantes da Formação Mafra, Grupo Itararé.** In: PALEO 2001, Mafra. Programação e Resumos, p. 9. 2001.

SOUZA, P. A.; MARQUES-TOIGO, M. **An overview on the palynostratigraphy of the Upper Paleozoic Brazilian Paraná Basin.** Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 5: 205-214. 2003.

SOUZA, P. A.; MARQUES-TOIGO, M. **Progress on palynostratigraphy of the Permian strata in Rio Grande do Sul State, Paraná Basin, Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 77: 353-365. 2005.

SWEET, W. C. **The Conodonta, morphology, taxonomy, palaeoecology and evolutionary history of a long-extinct animal phylum.** *Oxford Monographs on Geology and Geophysics*, 10: 212p. 1988.

TABOADA, A. C.; NEVES, J. P.; WEINSCHÜTZ, L. C.; PAGANI, M. A.; SIMÕES, M. G. ***Eurydesma–Lyonia* fauna (Early Permian) from the Itararé group, Paraná Basin (Brazil): a paleobiogeographic W–E trans-Gondwanan marine connection.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 449: 431–454. 2016.

TUCKER, M. E. **Sedimentary Rocks in the Field: A Practical Guide.** 4th Edition, John Willey and Sons Ltd., Chichester, 85-104. 2011.

URBAN, C.; GNAEDINGR, S.; RODRIGUES, K. A.; SCOMAZZON, A. K. **Primer Registro de maderas fósiles del Grupo Itararé, Carbonífero Superior-Pérmico Inferior, Brasil.** In: II SIMPÓSIO ARGENTINO DE MELISOPALINOLOGIA, Buenos Aires. Anais. Buenos Aires, p. 126. 2012.

VESELY, F. F.; ASSINE, M. L. **Deglaciation sequences in the Permo-Carboniferous Itararé Group Paraná Basin, southern Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences*, 22: 156–168. 2006.

WEINSCHÜTZ, L. C. **Divisão do Afloramento Campáleo.** In: I CONODONT MEETING, Mafra. Mafra, p. 1-3. 2010.

WEINSCHÜTZ, L. C., CASTRO J. C. **Arcabouço cronoestratigráfico da Formação Mafra (intervalo médio) na região de Rio Negro/PR - Mafra/SC, borda leste da bacia do Paraná.** *Rem: Revista Escola de Minas* 57, nº 3: 151–56. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672004000300003>. 2004.

WEINSCHÜTZ, L. C. & CASTRO J. C. **A seqüência mafra superior \ Rio Do Sul inferior (Grupo itararé, permocarbonífero) em sondagens testemunhadas da região de mafra (SC), Margem Leste da Bacia do Paraná.** *Geociências*, 131–41. 2005.

WEINSCHÜTZ, L. C.; NEVES, J. P.; HADLER, P.; RICETTI, J. H. Z.; WILNER, E. **Ocorrência inédita de Ammonoidea (Mollusca: Cephalopoda), no Permiano da Bacia do Paraná.** In: PALEO PR/SC, 2018, Curitiba. Livro de resumos paleo pr/sc 2018. Curitiba, 2018.

WHATLEY, R. C. **The application of Ostracoda to paleoenvironmental analysis.** In: Maddocks RF (ed.) *Application of Ostracoda.* University of Huston, Huston, p. 51-77. 1983.

WILNER, E.; LEMOS, V. B.; SCOMAZZON, A. K. **Associações naturais de conodontes *Mesogondolella* spp., Grupo Itararé, Cisuraliano da Bacia do Paraná.** *GAEA J. Geosci.*, 9(1): 30-36. 2016.