

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

DOUGLAS DA SILVA STRATTMANN

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEONTOLÓGICA DO SÍTIO
FOSSILÍFERO BARRO ALTO (SÃO GABRIEL - RS), FORMAÇÃO RIO DO
RASTO (GUADALUPIANO, BACIA DO PARANÁ)**

Porto Alegre

2024

DOUGLAS DA SILVA STRATTMANN

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEONTOLÓGICA DO SÍTIO FOSSILÍFERO BARRO ALTO (SÃO GABRIEL - RS), FORMAÇÃO RIO DO RASTO (GUADALUPIANO, BACIA DO PARANÁ)

Monografia apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Heitor Roberto Dias Francischini
Coorientadora: Profa. Dra. Amanda Goulart Rodrigues

Porto Alegre

2024

CIP - Catalogação na Publicação

Strattmann, Douglas
CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEONTOLÓGICA DO
SÍTIO FOSSILÍFERO BARRO ALTO (SÃO GABRIEL - RS),
FORMAÇÃO RIO DO RASTO (GUADALUPIANO, BACIA DO PARANÁ)
/ Douglas Strattmann. -- 2024.

62 f.

Orientador: Heitor Roberto Dias Francischini.

Coorientadora: Amanda Goulart Rodrigues.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2024.

1. Geologia. 2. Paleontologia de vertebrados. 3.
Paleoambientes. I. Dias Francischini, Heitor Roberto,
orient. II. Goulart Rodrigues, Amanda, coorient. III.
Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **“CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEONTOLÓGICA DO SÍTIO FOSSILÍFERO BARRO ALTO (SÃO GABRIEL - RS), FORMAÇÃO RIO DO RASTO (GUADALUPIANO, BACIA DO PARANÁ)”** elaborado por DOUGLAS DA SILVA STRATTMANN, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dra. Ana Karina Scomazzon

Prof. Dr. Fernando Erthal

Prof. Dra. Paula Dentzien Dias Francischini

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo a minha família, principalmente a minha mãe Aline, meu pai Régis, minha irmã e meu irmãozinho, Stéfani e Diego, meu tio Andrei e minha dinda Letícia, meus avós João e Maria “Leda”, Fernando e Vânia e a minha bisavô Lygia, que se orgulha em dizer que me deu carona para pegar o trem no meu primeiro dia de aula da faculdade. Incluo aqui meus irmãos da vida, Ezequiel, Lucas e Davi e as famílias Dahlem-Pereira e Monteiro as quais considero como minhas também. Minha família é a minha fundação e o que me sustenta a cada dia da minha vida e por isso eu tenho muito a agradecer, todos os dias.

Agradeço aos meus amigos da graduação, principalmente a Priscila Machado e ao Rodrigo Johnson. As únicas pessoas capazes de entenderem o que se passa com um aluno do curso de Geologia da UFRGS são os alunos do curso de Geologia da UFRGS, e por isso, aos que estiveram ao meu lado durante esses longos anos, guardo vocês em meu coração. Obrigado!

Aos meus colegas de laboratório, Pedro Lucas e Thiago, e a professora Paula, sempre dispostos a me ajudar e a trocar ideias comigo sobre o desenvolver do trabalho.

Agradeço também a Ana Emília da UFPI pela ajuda na identificação de um dos materiais, ao professor Heinrich Frank pela confecção de duas das lâminas delgadas utilizadas nesse trabalho e aos demais professores do IGEO que se disponibilizaram a me ajudar.

Agradeço ao IGEO pelo financiamento com diárias de campo, análises laboratoriais e disponibilidade dos equipamentos necessários.

Por fim, agradeço aos meus orientadores, Heitor e Amanda. Duas pessoas que sempre tiveram a maior boa vontade, as maiores calma e paciência (a não ser quando eu não mereci!) e a maior gentileza ao longo de todos esses anos, não só como meus orientadores, mas como meus professores também. Palavras não são o suficiente para agradecer, mas sei que eles vão entender que um simples “muito obrigado” significa mais do que isso. Muito obrigado, Heitor e Amanda.

*“A ciência é essencialmente progressiva. A teoria de hoje é invalidada pela
de amanhã.”*

Professor Lidenbrock, *Viagem ao Centro da Terra*.

RESUMO

O sítio fossilífero Barro Alto (Guadalupeano, São Gabriel – RS) já foi citado em diferentes estudos como local de origem de importantes materiais de vertebrados, porém, pouca informação se tem sobre as condições paleoambientais do afloramento. O presente trabalho se propõe a integrar os dados paleontológicos já existentes para o sítio fossilífero Barro Alto, bem como caracterizar a fauna não descrita e prover novas informações paleoambientais e paleontológicas para a Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná) no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A pesquisa foi realizada com base nos materiais disponíveis no laboratório de paleovertebrados da UFRGS, além de novos materiais coletados em campo. O trabalho resultou em um perfil colunar com a divisão em seis fácies sedimentares identificadas em campo, que foram integradas com os dados fossilíferos, descrições petrográficas, análises de Difração de Raios-X e de Microscopia Eletrônica de Varredura. O contexto paleoambiental interpretado para o afloramento Barro Alto consistiu em um corpo lacustre/lagunar, que sofria variações sazonais no nível d'água, e que era eventualmente invadido por canais fluviais, formando pequenos deltas. Além disso comportava uma complexa biodiversidade, com peixes ósseos e cartilaginosos como actinopterygii, sarcopterygii e chondrichthyes; tetrápodes terrestres de diferentes grupos como sinápsidos anomodontes, arcossauromorfos e anfíbios além de coprólitos e plantas.

Palavras-chave: peixes, tetrápodes, diagênese, fácies, evolução paleoambiental.

ABSTRACT

The Barro Alto fossil site (middle Permian, São Gabriel, RS) has already been cited in different studies as the place of origin of important vertebrate materials, however, almost non-information is available about the paleoenvironmental conditions of the site. The present work aims to integrate existing paleontological data for the Barro Alto fossil site, as well as characterize the undescribed fauna and provide new paleoenvironmental and paleontological information for the Rio do Rasto Formation (Paraná Basin) in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The research was carried out based on materials available in the laboratório de paleovertebrados da UFRGS, in addition to new materials collected in the field. The work resulted in a columnar profile with the division into six sedimentary facies identified in the field, which were integrated with fossil data, petrographic descriptions, X-ray Diffraction and Electron Microscopy analyses. The paleoenvironmental context for the Barro Alto outcrop consisted of a lacustrine/lagoon body, which suffered seasonal variations in water level, and which was eventually invaded by river channels, forming small deltas. Furthermore, it contained a complex biodiversity, with bony and cartilaginous fish such as actinopterygii, sarcopterygii and chondrichthyes; terrestrial tetrapods from different groups such as anomodont synapsids, archosauromorphs and amphibians in addition to coprolites and plants.

Key-words: fish, tetrapod, diagenesis, facies, paleoenvironmental evolution.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 CONTEXTO GEOLÓGICO	13
4.1 Bacia do Paraná.....	13
4.2 Contexto paleontológico da Formação Rio do Rasto no Rio Grande do Sul.....	17
4.3 Área de Estudo.....	18
5. MATERIAIS & MÉTODOS	20
5.1 Materiais.....	20
5.1.1 Pré-campo.....	20
5.1.2 Atividade de campo.....	20
5.2 Métodos.....	21
5.2.1 Identificação e classificação dos fósseis.....	21
5.2.2 Perfil colunar e análise faciológica.....	21
5.2.3 Caracterização petrográfica.....	22
5.2.4 Difractometria de Raios-X (DRX).....	22
5.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	24
6. RESULTADOS	25
6.1 Análise Faciológica.....	25
6.1.1 Fácies Ht.....	27
6.1.2 Fácies Sw.....	30
6.1.3 Fácies Cm.....	33
6.1.4 Fácies St.....	33
6.1.5 Fácies Sh.....	34
6.1.6 Fácies Fm.....	36
6.2 Conteúdo fossilífero.....	36
6.2.1 Chondrichthyes, Elasmobranchii.....	36
6.2.2 Osteichthyes.....	38
6.2.3 Tetrapoda, Temnospondyli.....	42
6.2.4 Tetrapoda, Anomodontia.....	43
6.2.5 Tetrapoda, Archosauromorpha.....	44
6.2.6 Tetrapoda, Amniota indeterminados.....	46
6.2.7 Coprólitos de vertebrados.....	46
6.2.8 Elementos paleobotânicos.....	47
7 DISCUSSÕES	50
7.1 Modelo deposicional e reconstrução paleoambiental.....	50
7.2 Assembleia de microrrestos de vertebrados e sua importância na reconstrução paleontológica.....	52

7.3 Idade relativa com base em relações bioestratigráficas.....	54
8 CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Durante o Período Permiano, o supercontinente Pangea termina sua formação, juntando todas as massas de terra do planeta, e se movimentando em direção norte até que seu centro chegasse à linha do Equador (Henderson *et al.*, 2020). O Período inicia com uma grande era do gelo, que havia começado ainda no Carbonífero, e seu término foi marcado pela maior extinção em massa da história da Terra, dando fim à Era Paleozoica em que apenas 5% da diversidade da fauna e da flora sobreviveram e prosperaram em um mundo inóspito no início do Triássico e da Era Mesozoica (Dal Corso *et al.*, 2022). No Brasil, afloramentos com fósseis de vertebrados, invertebrados, microfósseis e vegetais permianos ocorrem em diversas bacias sedimentares intracratônicas que possuem idades paleozoicas, como nas bacias do Parnaíba, de São Francisco e do Paraná.

No Rio Grande do Sul, depósitos fossilíferos de vertebrados permianos ocorrem em distintas localidades, apresentando uma grande variedade de fósseis, especialmente na Formação Rio do Rasto (e.g., Würdig-Maciel, 1975; Dias e Barberena, 2001; Cisneros *et al.*, 2012; Cisneros *et al.*, 2021; Boos *et al.*, 2016; Dentzien-Dias *et al.*, 2012; Dentzien-Dias *et al.*, 2013; Francischini *et al.*, 2015; Dentzien-Dias *et al.*, 2017; Francischini *et al.*, 2018). Uma dessas importantes localidades consiste no sítio fossilífero Barro Alto, localizado no distrito de Tiarajú, do município de São Gabriel, sudoeste do estado. Alguns dos mais notáveis táxons descritos consistem no holótipo do anomodonte basal *Tiarajudens eccentricus* (Cisneros *et al.*, 2011), único indivíduo desta espécie conhecido no mundo e o holótipo da espécie de tubarão Xenacanthiformes *Triodus richterae* (Pauliv *et al.*, 2017), além de um fragmento que representa o mais antigo arcosauromorfo da América do Sul (Martinelli *et al.*, 2017) e importantes evidências de paleoincêndios para o Permiano, (segundo Manfroi *et al.*, 2015). Os materiais provenientes do sítio Barro Alto ocorrem em níveis fossilíferos distintos e possuem uma relação complexa entre a biota e o ambiente deposicional, misturando fósseis de animais e plantas de paleoambientes diferentes, tanto terrestres, quanto aquáticos.

Este trabalho busca integrar os dados paleontológicos já existentes com novas informações sobre o contexto deposicional e paleontológico para o sítio Barro Alto (Formação Rio do Rasto, Bacia do Paraná).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Refinar o conhecimento paleoambiental e paleontológico do sítio Barro Alto com base na integração do seu conteúdo fossilífero e das características faciológicas e diagenéticas.

2.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar a fauna e flora por meio do estudo e classificação dos materiais fossilíferos de vertebrados encontrados no afloramento, bem como identificar características tafonômicas desse material.
- Caracterizar o paleoambiente com base na análise faciológica e petrográfica dos depósitos;
- Discutir a idade do afloramento com base nas relações litoestratigráficas dos membros da Formação Rio do Rasto e nas relações bioestratigráficas da espécie *Tiarajudens eccentricus* com fósseis da Bacia do Karoo (África do Sul), à luz de novas informações advindas da bibliografia.

3 JUSTIFICATIVA

Muitos estudos foram realizados com materiais provenientes do sítio fossilífero Barro Alto, onde foram descritos importantes elementos da fauna e da flora (e.g., o anomodonte *Tiarajudens eccentricus*, um importante fragmento de arcossauomorfo indeterminado, dentes de tubarões Xenacanthiformes e fragmentos de madeira carbonizada; Cisneros *et al.*, 2011; Martinelli *et al.*, 2017; Pauliv *et al.*, 2017). Não há, porém, trabalhos que integrem estes materiais em um mesmo paleoambiente e proponham um modelo paleoambiental e paleontológico para este afloramento. Diante disso, este projeto visa ampliar o conhecimento e refinar a interpretação geológica e paleontológica do sítio Barro Alto a fim de compreender melhor os ecossistemas e paleoambientes ali preservados e dar suporte a futuras correlações bioestratigráficas com outros afloramentos permianos da Bacia do Paraná, tanto no estado do Rio Grande do Sul quanto em outros estados brasileiros e países compreendidos pela bacia.

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná (Fig. 1) contém depósitos sedimentares com idades que compreendem o Ordoviciano até o Cretáceo, além dos depósitos vulcânicos do Grupo Serra Geral (Cretáceo Inferior) (Scherer *et al.*, 2023). Esta bacia se estende por uma área de 1.400.000 km², e se localiza principalmente no Brasil, com áreas menores entre Uruguai, Argentina e Paraguai (Milani, 1997). Os sedimentos da bacia foram depositados sobre diferentes domínios geotectônicos, incluindo os terrenos cratônicos arqueanos e paleoproterozoicos e também faixas móveis relacionadas aos eventos panafricanos e brasileiros, responsáveis pela junção do supercontinente Gondwana (Holz *et al.*, 2006).

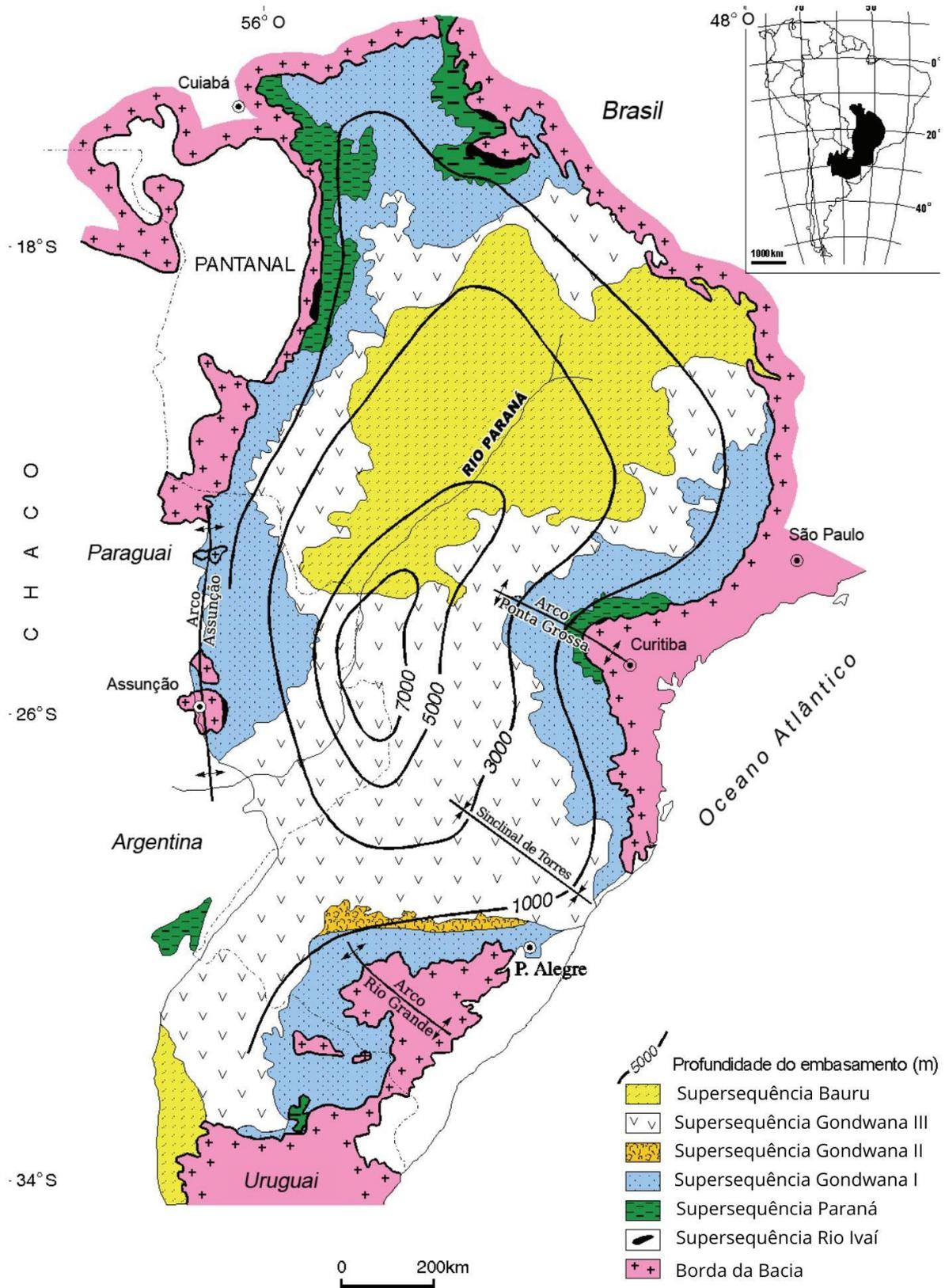


Figura 1. Mapa de localização da Bacia do Paraná e suas subdivisões em Supersequências. Extraído de Milani (2007).

O registro sedimentar da bacia está dividido em seis supersequências (Milani, 1997), que são, da base para o topo: a Supersequência Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano); Supersequência Paraná (Devoniano); Supersequência Gondwana I (Pensilvaniano-Eotriássico); Supersequência Gondwana II (Anisiano-Noriano); Supersequência Gondwana III (Jurássico-Neocretáceo); e Supersequência Bauru (Aptiano-Maastrichtiano). A Supersequência Gondwana I é um pacote complexo e espesso de rochas sedimentares que se inicia no Eocarbonífero na base do Supergrupo Tubarão com os estratos glaciogênicos do Grupo Itararé e se estende até o Eotriássico (Fig. 2). Todo o Permiano é compreendido pela supersequência Gondwana I, e corresponde a três Grupos litoestratigráficos: Itararé; Guatá e Passa Dois. O Grupo Passa Dois é subdividido em quatro formações (da base para o topo): Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto. No Rio Grande do Sul o Permiano aflora desde o topo do Grupo Itararé com a Formação Taciba, até o topo da Formação Rio do Rasto, a qual é sobreposta por unidades Mesozoicas.

GEOCRONOLOGIA			LITOESTRATIGRAFIA		SEQUÊNCIA		
247.2	Eotriássico		Fm. Sanga do Cabral		Supersequência Gondwana I		
251.9	Lopingiano	Changhsingiano	Fm. Buena Vista				
259.5		Wuchiapingiano	Grupo Passa Dois				
273	Guadalupiano	Capitaniano				Fm. Rio do Rasto	
		Wordiano					
		Roadiano					
298.9	Cisuraliano	Kunguriano				Fm. Teresina	
		Artinskiano	Fm. Serra Alta				
		Sakmario	Fm. Irati				
			Asseliano	Grupo Guatá		Tatui	Fm. Palermo
323.2	Pensylvaniano	Gzeliano	Fm. Taciba				
		Casimoviano	Fm. Campo Mourão				
		Moscoviano					
		Basquiriano	Fm. Lagoa Azul				
			Supergrupo Tubarão		Supergrupo Itararé		

Figura 2. Supersequência Gondwana I e divisões dos grupos litoestratigráficos do Período Carbonífero Superior (Pensylvaniano) e Permiano da Bacia do Paraná. Modificado de Holz *et al.* (2010).

A Formação Rio do Rasto (Gordon Jr., 1947) compreende a maior parte do Permiano médio e superior da Bacia do Paraná e é interpretada como um sistema progracional com sistemas fluviais e lacustres, sendo subdividida em dois membros (Schneider *et al.*, 1974). A base é delimitada por uma discordância com a Formação Teresina, e é formada pelo Membro Serrinha com 150–250 m de espessura, formado predominantemente por lamitos e arenitos de granulometria fina (Schneider *et al.*, 1974). O topo da formação é definido como Membro Morro Pelado, contendo 250–300 m de espessura de arenitos entremeados com lamitos na base e arenitos de granulometria fina a média em direção ao topo (Scherer *et al.*, 2023). A interpretação de sistema deposicional para o Membro Serrinha consiste em um lago raso que ocasionalmente pode ter sido influenciado por tempestades ou por inundações. Já o Membro Morro Pelado é interpretado como sistemas fluviais meandantes, lacustres, deltaicos e eólicos no topo. Rohn *et al.* (2005), sugerem uma nova interpretação de que o Membro Morro Pelado pode ter sido depositado em condições de leques aluviais distais com planícies fluviais lateralmente extensas, incluindo influências de inundações e canais fluviais rasos.

4.2 Contexto paleontológico da Formação Rio do Rasto no Rio Grande do Sul

No Rio Grande do Sul existem muitos estudos paleontológicos para a Formação Rio do Rasto, contudo, até o momento não foram encontrados fósseis para o Membro Serrinha. Já o Membro Morro Pelado possui diversos representantes de vertebrados, como peixes (e.g., Chondrichthyes como *Xenacanthus santosi*, Actinopterygii como “paleoniscídeos” e Sarcopterygii das linhagens dos Dipnoi e Actinistia; Würdig-Maciel, 1975; Figueiredo *et al.*, 2009), anfíbios Temnospondyli (e.g., *Bageherpeton longignathus*, *Konzhukovia sangabrielensis*; Dias & Barberena, 2010, Pacheco *et al.*, 2017), pareiassauros (e.g., *Provelosaurus americanus*; Cisneros *et al.*, 2021), dinocefálios (e.g., *Pampaphonaeus biccai*; Cisneros *et al.*, 2012) e anomodontes (e.g., *Rastodon procurvidens*, *Tiarajudens eccentricus*; Boos *et al.*, 2016, Cisneros *et al.*, 2011). Além disso, coprólitos, pegadas e tocas já

foram descritas para o Membro Morro Pelado (Dentzien-Dias *et al.*, 2012; Dentzien-Dias *et al.*, 2013; Francischini *et al.*, 2015; Dentzien-Dias *et al.*, 2017; Francischini *et al.*, 2018). Invertebrados e microfósseis são pouco conhecidos para o estado do Rio Grande do Sul, mas já foram descritos dentro de coprólitos por Dentzien-Dias *et al.* (2017). Quanto à flora, se tem apenas uma breve menção em um resumo por Cisneros e Dentzien-Dias (2008) sobre um tronco fossilizado de uma gimnosperma indeterminada e um molde externo de caule de uma Sphenopsida herbácea de ambiente hidrófilo, ocorrência na Fazenda Santo Antônio, em Aceguá, RS.

4.3 Área de Estudo

O sítio fossilífero Barro Alto (coordenadas: 30°08'16''S; 54°22'56''W) se localiza no distrito de Tiarajú (Fig. 3), no município de São Gabriel, sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Possui idade guadalupiana (mesopermiano), indicada pela ocorrência de *Tiarajudens eccentricus*, cujo táxon-irmão, *Anomocephalus africanus* (Formação Abrahamskraal, Bacia do Karoo, África do Sul), provém de camadas com idades, até aquele momento, já estabelecidas (Modesto *et al.*, 1999; Rubidge & Day, 2020). O afloramento foi interpretado por Cisneros *et al.* (2015) como planícies de inundação cortada por pequenos canais fluviais e incluído no Membro Morro Pelado.

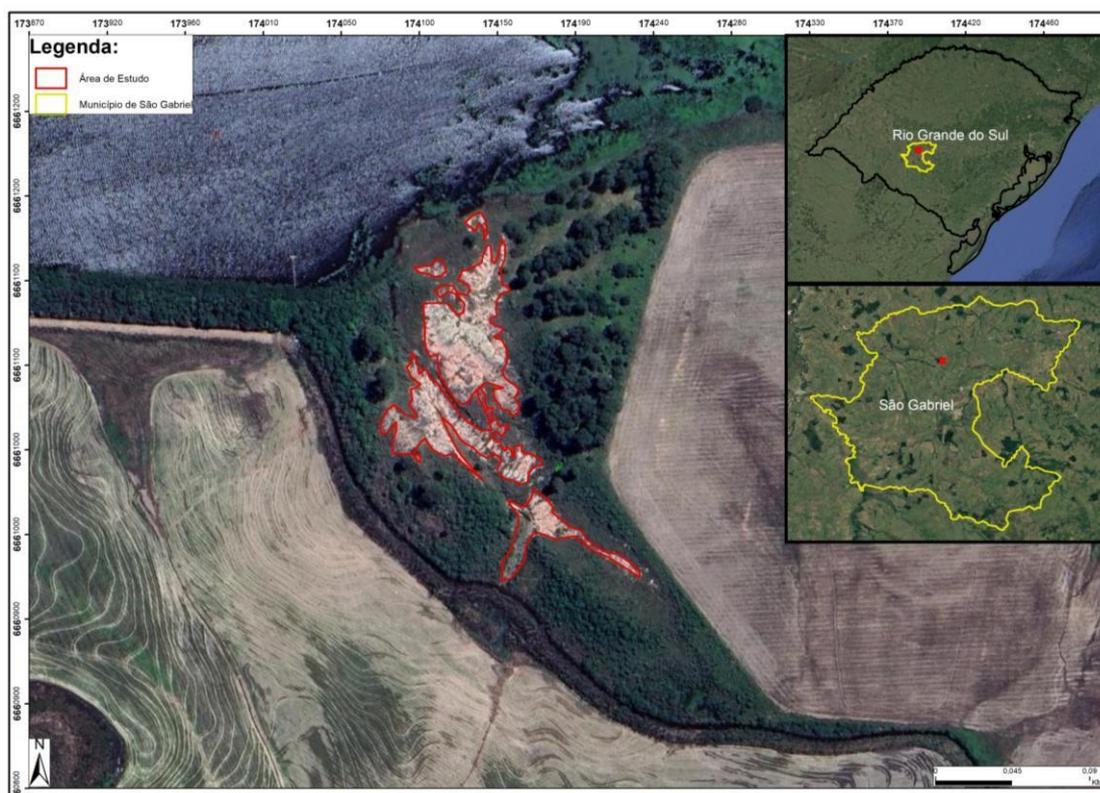


Figura 3. Localização do sítio fossilífero Barro Alto em São Gabriel (RS).

Segundo Francischini *et al.* (2017) pelo menos cinco níveis contendo fósseis de vertebrados estão presentes ao longo da sequência estratigráfica, duas delas na base do afloramento são clastos-suportados com uma diversidade de vertebrados (e.g. escamas e dentes de peixes ósseos e cartilagenosos e fragmentos ósseos de tetrápodes) notável. Níveis de arenito fino, lamitos e argilitos ocorrem ao longo de todo o perfil colunar.

Muitos estudos foram realizados no sítio fossilífero Barro Alto, nos quais foram descritos importantes elementos da fauna e da flora, como o holótipo do terápsido anomodonte *Tiarajudens eccentricus* (Cisneros *et al.*, 2011), um importante fragmento (porção distal de um úmero esquerdo) de um Archossauomorpha (Martinelli *et al.*, 201), dentes de tubarões Xenacanthiformes, incluindo o holótipo da espécie *Triodus richterae* (Pauliv *et al.*, 2017), dentes de tubarões Hybodontiformes indeterminados (Francischini *et al.*, 2017) e fragmentos de madeira carbonizada (segundo Manfroi *et al.*, 2015).

5. MATERIAIS & MÉTODOS

5.1 Materiais:

5.1.1 Pré-campo

Entre os anos de 2014 e 2018, foram coletadas mais de 100 amostras de arenitos conglomeráticos fossilíferos do afloramento. Os fósseis foram coletados em cinco níveis estratigráficos distintos ou rolados (*ex situ*) no afloramento (para mais informações consultar Francischini *et al.*, 2017). As amostras fossilíferas estão armazenadas na coleção de vertebrados permianos (UFRGS-PV-P) do Museu de Paleontologia da UFRGS Irajá Damiani Pinto. A quantidade de amostras coletadas de cada nível é heterogênea, sendo mais de 85% das amostras de apenas um dos níveis fossilíferos (o Nível B de Francischini *et al.*, 2017). Foi feita uma seleção de 100 amostras com o objetivo de realizar uma caracterização prévia do conteúdo fossilífero, bem como elucidar algumas das características texturais, estruturais, composicionais do afloramento alvo deste estudo.

5.1.2 Atividade de campo

Foi realizada uma nova campanha de campo em março de 2024, nos quais contaram com três dias de trabalho no afloramento para realização de coletas de dados e amostras. No primeiro dia de campo foi feito o reconhecimento da área para que se pudesse traçar planos e objetivos viáveis dentro do tempo disponível de trabalho. Ao decorrer de todo o segundo dia foi feito o levantamento de um perfil estratigráfico detalhado do afloramento (litologias, estruturas, texturas, fósseis etc.) resultando na construção de um perfil colunar com 12 m de espessura (Fig.4). No terceiro dia, foi feita a prospecção de fósseis e detalhamento pontual em algumas camadas de rocha. Ao longo de toda a etapa de campo foram coletadas 20 amostras de rochas sedimentares com objetivos de i) fazer análises petrográficas e interpretações diagenéticas, ii) realizar análises de

caracterização mineral como difração de Raios-X e Microscopia Eletrônica de Varredura, além de iii) fazer análises tafonômicas do conteúdo fossilífero.

5.2 Métodos:

5.2.1 Identificação e classificação dos fósseis

As análises e identificação dos fósseis indescritos anteriormente foram feitas manualmente em 100 amostras com auxílio de um estereomicroscópio Zeiss Stemi DV4 do Laboratório de Paleontologia de Vertebrados da UFRGS (PALEOVERT). A classificação dos ictiodontes e escamas de peixes seguiu o trabalho de Richter *et al.* (1983) que traz uma classificação baseada em dez distintos morfótipos de ictiodontes e cinco distintos morfótipos de escamas. Da mesma maneira, foi feita a identificação de dentes de tubarões Xenacanthiformes seguindo Würdig-Maciel (1975) e Pauliv *et al.* (2017). Os coprólitos foram identificados com base em Dentzien-Dias *et al.* (2013) e os elementos paleobotânicos com base em Harrison e Morris (2018). Foram encontrados também restos de anfíbios Temnospondyli e tetrápodes indeterminados.

5.2.2 Perfil colunar e análise faciológica

A associação de fácies do afloramento Barro Alto está representada num perfil colunar de aproximadamente 12 m (Fig.4). A análise de fácies é o processo de identificação e segregação de estratos que possam ser geneticamente relacionados. Segundo Walker (1992) as fácies podem ser agrupadas em associações, sucessões e elementos arquiteturais. Com a definição e interpretação desses grupos de fácies é possível caracterizar o sistema deposicional. As fácies foram descritas e interpretadas segundo Costa (2015), Lima *et al.* (2024) e Miall (1996).

5.2.3 Caracterização petrográfica

Foram selecionadas oito amostras de quatro distintos níveis fossilíferos para fazer a identificação prévia dos materiais na etapa pré-campo. Essas amostras foram enviadas para a empresa Petrografia BR (Contagem, Minas Gerais) para a confecção de lâminas delgadas. Para a preparação, foram feitos cortes e impregnação com resina epóxi azul, coladas em um vidro e desbastadas até chegarem a uma espessura de 300 micrômetros. Após a campanha de campo de março de 2024, mais quatro lâminas petrográficas de diferentes intervalos do afloramento foram confeccionadas no Instituto de Petróleo e Recursos Naturais (IPR) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), utilizando a mesma metodologia.

As lâminas delgadas foram sistematicamente analisadas em um microscópio óptico convencional, Marca Leitz Laborlux, com câmera acoplada para aquisição de fotomicrografias. Os carbonatos foram identificados a partir de uma solução hidrocloreídrica de Alizarina S e Ferrocianeto de Potássio (Dickson, 1965). A análise petrográfica consistiu na caracterização dos aspectos texturais e estruturais, bem como da composição primária, constituintes e processos diagenéticos, e tipos de poros. Além disso, as amostras foram classificadas segundo Folk (1968).

5.2.4 Difratometria de Raios-X (DRX)

Seis amostras de diferentes níveis foram submetidas a análises de difração de raios X (DRX) com o objetivo de caracterizar os argilominerais e outras fases minerais presentes. Ao todo foram obtidos 12 resultados, sendo dois métodos de análise: i) método do pó; ii) método orientado. As análises por DRX foram realizadas em um difratômetro de Raios X da marca Siemens (BRUKER AXS), equipados com tubo de ânodo fixo de Cu ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$), operando a 40 kV e 30 mA no feixe primário e monocromador curvado de grafite no feixe secundário. Esse equipamento pertence ao Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq), do Instituto de Geociências desta universidade.

No método do pó, o material pulverizado ou desagregado foi depositado em um porta-amostra específico para pó procurando-se preservar a desorientação das partículas onde todos os minerais ou estruturas cristalinas são analisados. Os minerais e/ou fases cristalinas são identificados através da medida das distâncias interplanares (valores de “d”) e das intensidades relativas dos picos nos difratogramas. As amostras em pó foram analisadas no intervalo angular de 2° a $72^\circ 2\theta$ em passo de $0.02^\circ/1s$ utilizando-se fendas de divergência e antiespalhamento de 1° e 0.2 mm no detector.

No método orientado a preparação das amostras e separação das frações são realizadas predominando $< 4 \mu m$. As amostras orientadas são preparadas conforme o seguinte procedimento: i) quarteamento da amostra; ii) desagregação em gral de porcelana; iii) desagregação por agitação durante 14 horas em agitador orbital; iv) desagregação por ultrassom de ponteira durante 5 min com amostra em solução; v) estabilização da temperatura para controle da viscosidade do fluido; vi) cálculo do tempo de decantação respectivo de cada fração de acordo com a Lei de Stokes; vii) preparação de lâminas delgadas orientadas por pipetagem. Neste processo, privilegiam-se as faces (001) para a identificação de argilominerais, chamando-se a amostra orientada natural. A amostra orientada natural é saturada com etileno glicol para verificar a existência ou não de argilominerais expansivos, passando a ser chamada amostra glicolada. A amostra orientada natural também é aquecida a $550^\circ C$ durante duas horas para avaliar argilominerais que colapsam a sua estrutura nestas condições (ex.: argilominerais do Grupo das Caulinitas) permitindo uma identificação mais precisa. Passa a ser chamada amostra calcinada. As amostras orientadas naturais e as amostras calcinadas foram analisadas no intervalo angular de 2° a $32^\circ 2\theta$ em passo de $0.02^\circ/2s$, utilizando-se fendas de divergência e antiespalhamento de 1° e 0.2 mm no detector. As amostras glicoladas foram analisadas no intervalo angular de 2 a $32^\circ 2\theta$ em passo de $0.02^\circ/3s$, utilizando-se fendas de divergência e antiespalhamento de 1° e 0.2 mm no detector.

5.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Quatro morfótipos de ictiodontes, dois morfótipos de escamas de peixes e um fragmento de lenho foram selecionados e posicionados em *stubs* e metalizados com ouro, por meio de um equipamento BAL-TEC SCD 050 Sputter Coater no Centro de Microscopia e Microanálise (CMM) da UFRGS. Em seguida foram adquiridas imagens no método elétrons secundários no microscópio eletrônico de varredura (MEV) JEOL-6610LV com sistemas de Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) da marca Bruker. Além disso, quatro fragmentos de rochas foram analisados no modo elétrons secundários para identificação hábitos minerais, bem como as relações paragenéticas entre os constituintes primários e diagenéticos, e suas composições qualitativas foram analisadas por meio de EDS.

6. RESULTADOS

6.1 Análise Faciológica

O sítio fossilífero Barro Alto compreende pacotes de rochas dispostas lateral e verticalmente, numa área aproximada de 11.500 m². Por meio da descrição detalhada do afloramento, foi possível construir um perfil colunar (Fig. 4) e identificar seis fácies sedimentares, que foram integradas com as informações do conteúdo fossilífero e da análise petrográfica qualitativa. As informações sobre os fósseis serão apresentadas na respectiva fácies de ocorrência.

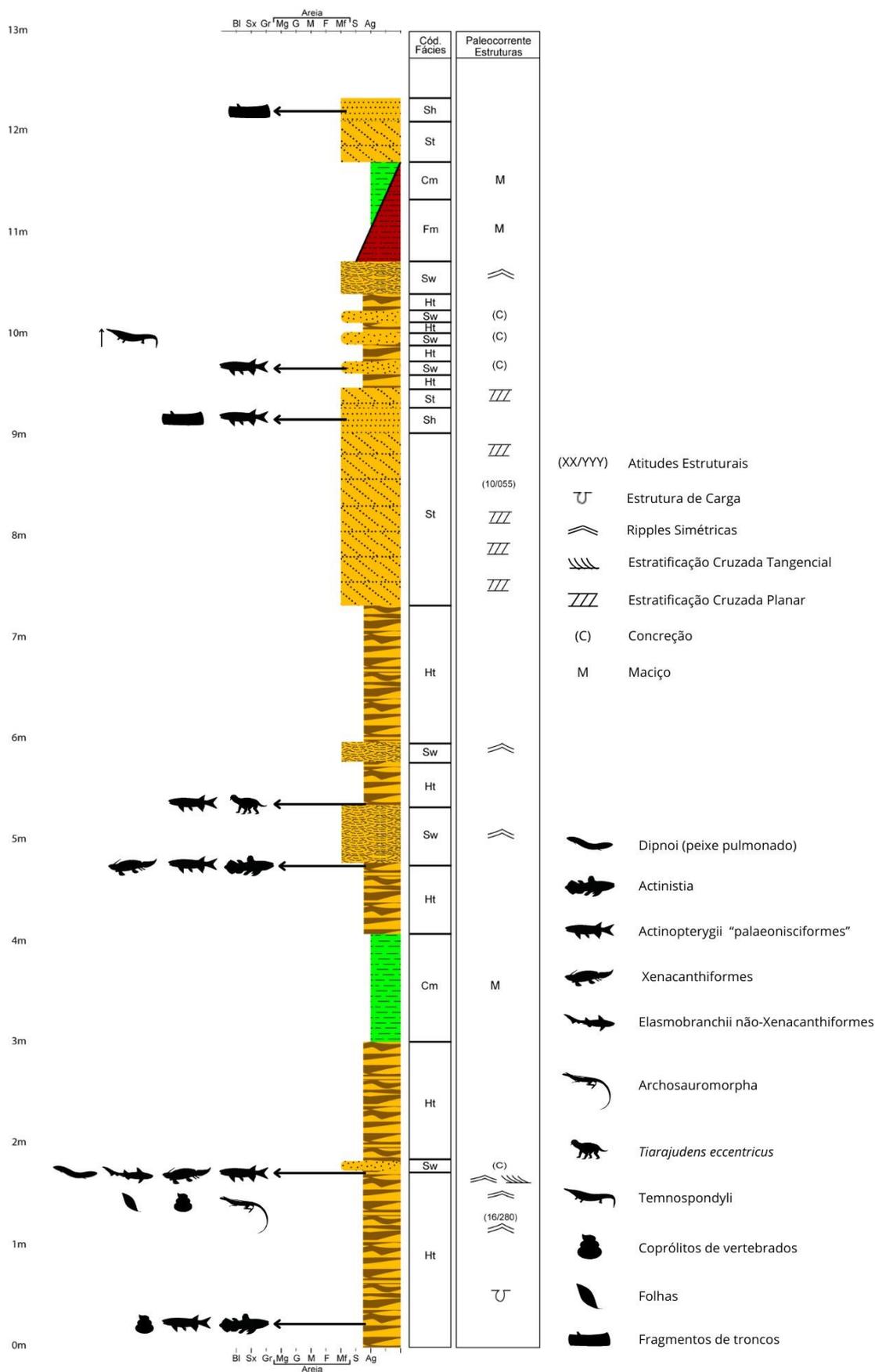


Figura 4. Perfil colunar do sítio fossilífero Barro Alto. Fácies e ocorrência dos diversos grupos de fósseis foram posicionadas em seu nível de amostragem, exceto pelo material de Temnospondyli coletado *ex situ*.

6.1.1 Fácies Ht

Descrição: A Fácies Ht ocorre desde a base do afloramento Barro Alto e se repete ao longo do perfil colunar. Trata-se de um heterolito do tipo *wavy a linsen* com intercalações entre siltitos e lamitos que variam lateralmente em espessuras milimétricas a centimétricas (Fig. 5A). As camadas sílticas apresentam marcas de ondas assimétricas e simétricas com predominância do segundo tipo e ainda possuem uma cimentação diferencial por carbonatos e óxidos/hidróxidos de ferro quando comparada as camadas mais argilosas. Três níveis fossilíferos foram identificados nos intervalos sílticos. Os fósseis encontram-se em camadas que possuem laminações plano-paralela e cruzada de marcas onduladas incipientes, marcadas pela orientação dos minerais micáceos e por vezes pela orientação do conteúdo bioclástico (Fig. 5B-D) além de apresentarem marcas de ondas no topo. Em geral, a composição primária consiste em quartzo monocristalino, plagioclásio, biotita e argilominerais do grupo da esmectita (identificados por DRX). Além dos minerais citados há também fitoclastos (fragmentos de plantas) e pelóides argilosos. Os processos diagenéticos consistem na cimentação e substituição de componentes primários por barita e calcita microcristalina e blocosa e por óxidos/hidróxidos de ferro (possivelmente hematita) (Fig. 5E); precipitação de fosfato diagenético em padrão fibro-radiado e pirita framboidal a microcristalina. O conteúdo fossilífero do primeiro nível é composto por dentes e escamas de peixes paleoniscídeos, escamas de peixes sarcopterígio (Actinistia) e coprólitos. Os fósseis em geral possuem tamanhos milimétricos e estão parcialmente fraturados (Fig. 5F), além de apresentarem diferentes graus de dissolução parcial no caso das escamas além de evidências de bioerosão nas mesmas. No segundo nível, o conteúdo fossilífero presente se trata de dentes e escamas de peixes paleoniscídeos, dentes de diferentes grupos de tubarões (ver na seção 6.2), incluindo o holótipo da espécie *Triodus richterae* (Pauliv *et al.*, 2017), um fragmento de úmero esquerdo de um arcossauomorfo (Martinelli *et al.*, 2017), *charcoal* e fragmentos de plantas (segundo Manfroi *et al.*, 2015), além de coprólitos. Os materiais, em geral milimétricos, encontram-se parcialmente fraturados, além das escamas também apresentarem diferentes graus de dissolução. No

terceiro e último nível fossilífero da fácies Ht, o conteúdo é representado por escamas e dentes de peixes paleoniscídeos, escamas de sarcopterígio (Actinistia) e dentes de tubarão Xenacanthiformes. De maneira similar aos dois primeiros níveis, os materiais são geralmente milimétricos e fraturados com diferentes graus de dissolução nas escamas.

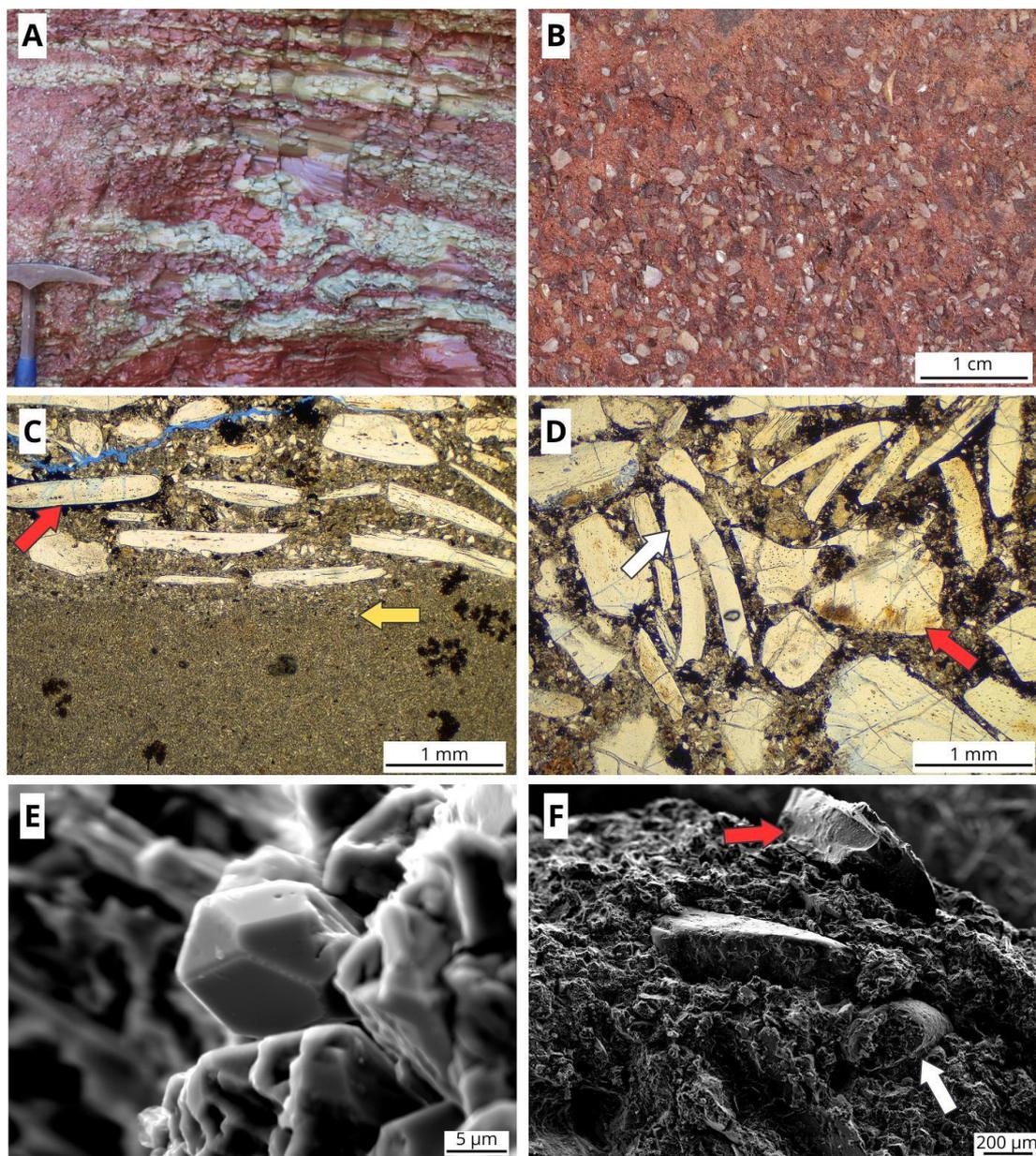


Figura 5. Características macro e microscópicas da Fácies Ht: A. Heterolito do tipo wavy com estrutura de carga; B. Escamas e dentes de peixe aglomerados em matriz síltica argilosa; C. Segundo nível fossilífero da fácies Ht (seta amarela: limite abrupto de variação granulométrica entre argila e silte, substituídos por calcita microcristalina; seta vermelha: concentração de escamas de peixe com fraturamento e dissolução parcial). Polarizadores descruzados (//P); D. Seção basal do segundo nível fossilífero da fácies Ht (seta branca: ictiodonte do tipo I-3 ou I-4, parcialmente fraturado; seta vermelha: escama de peixe parcialmente fraturada e dissolvida). (//P); E. Cristal euédrico de óxido de ferro em matriz de um dos níveis sílticos da fácies Ht; F. Detalhe da matriz síltica cimentada por carbonatos com fósseis associados (seta vermelha: escama de peixe; seta branca: dente de peixe). Imagens E e F adquiridas em microscópio eletrônico de varredura no modo elétrons secundários.

Interpretação: A intercalação entre siltitos e lamitos indicam um corpo lacustre/lagunar que sofria variação no nível de energia suficiente para que grãos do tamanho argila fossem decantados e posteriormente grãos de silte fossem trazidos e depositados por correntes trativas e oscilatórias. Os sedimentos foram depositados em contexto subaquoso alternando momentos de baixa energia no qual predomina decantação, com períodos de maior energia em que predomina tração e oscilação. O resultado são estruturas de ondas assimétricas quando predomina oscilação, que são combinados com fluxos unidirecionais, gerando marcas de ondas simétricas; e decantação de sedimentos finos em suspensão que ocasionalmente gera laminações plano-paralelas (Costa, 2015).

6.1.2 Fácies Sw

Descrição: Arenito muito fino com marcas onduladas simétricas (Fig. 6A). A rocha é formada por grãos de tamanho areia muito fina a fina de quartzo, ortoclásio, plagioclásio, biotita, argilominerais do grupo da esmectita como matriz, pelóides argilosos e matéria orgânica amorfa. O arenito é bem selecionado, com grãos angulares a sub-angulares de alta esfericidade, de fábrica sustentada pelo cimento, sem orientação e empacotamento normal com contato entre os grãos do tipo pontuais e côncavo-convexos. A porosidade da rocha foi preenchida por calcita microcristalina na fase eodiagenética (Fig. 6D). Ainda, na porção superior da segunda fácies Sw, em lâmina petrográfica, é possível ver a ocorrência de células calcificadas de plantas (rizólitos) *in situ* (Fig. 6B).

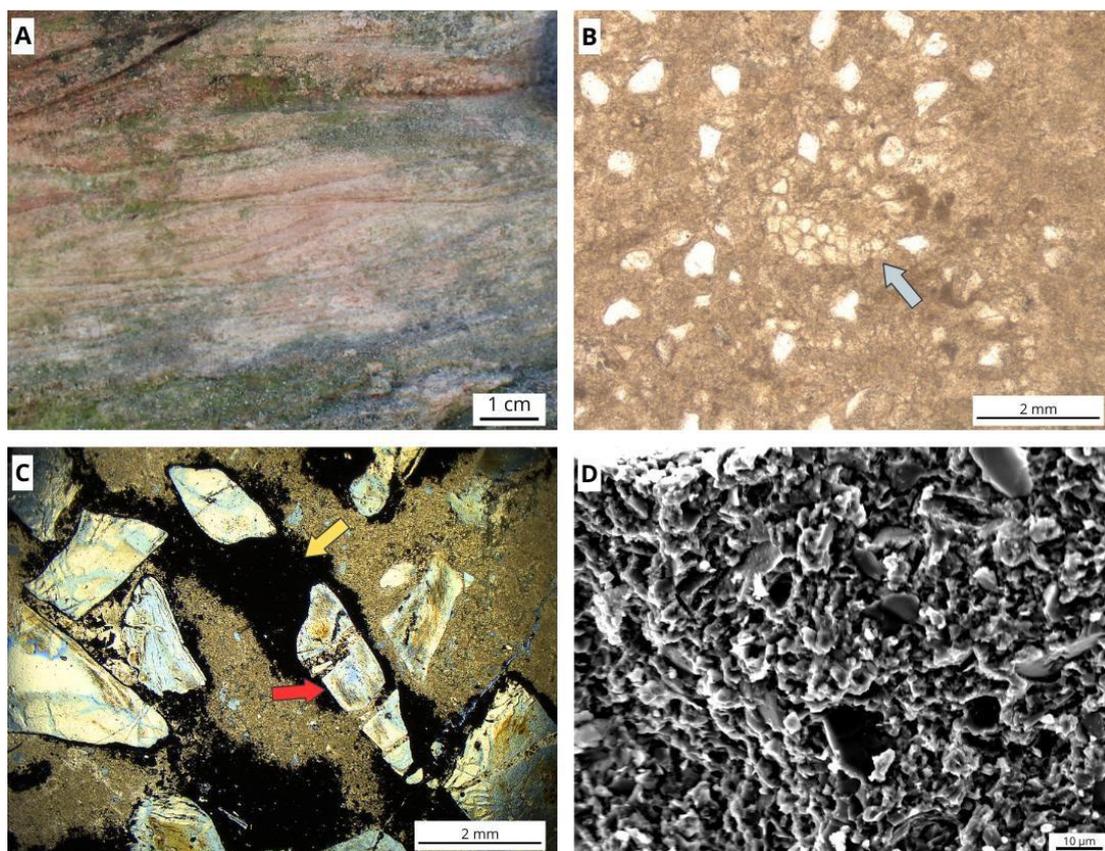


Figura 6. A. Detalhe das estruturas cruzadas de ondas; B. Concreção carbonática com células calcificadas de um rizólito (seta cinza). (//P); C. Seção basal de uma concreção carbonática com escamas de peixes fraturadas e parcialmente dissolvidas (seta vermelha) envolvidas por óxidos de ferro (seta amarela). (//P); D. Detalhe das estruturas do cimento micritico das concreções carbonáticas. Imagem eletrônica em elétrons secundários.

Em alguns pontos a rocha sofreu uma cimentação diferencial por calcita poiquilotópica formando concreções coalescentes (Fig. 7A). Porções não cimentadas possuem acumulados de fósseis, principalmente no topo das estruturas onduladas (Fig. 7B). Esses níveis concrecionados também apresentam substituição por óxidos/hidróxidos de ferro, possivelmente hematita (Fig. 7C).

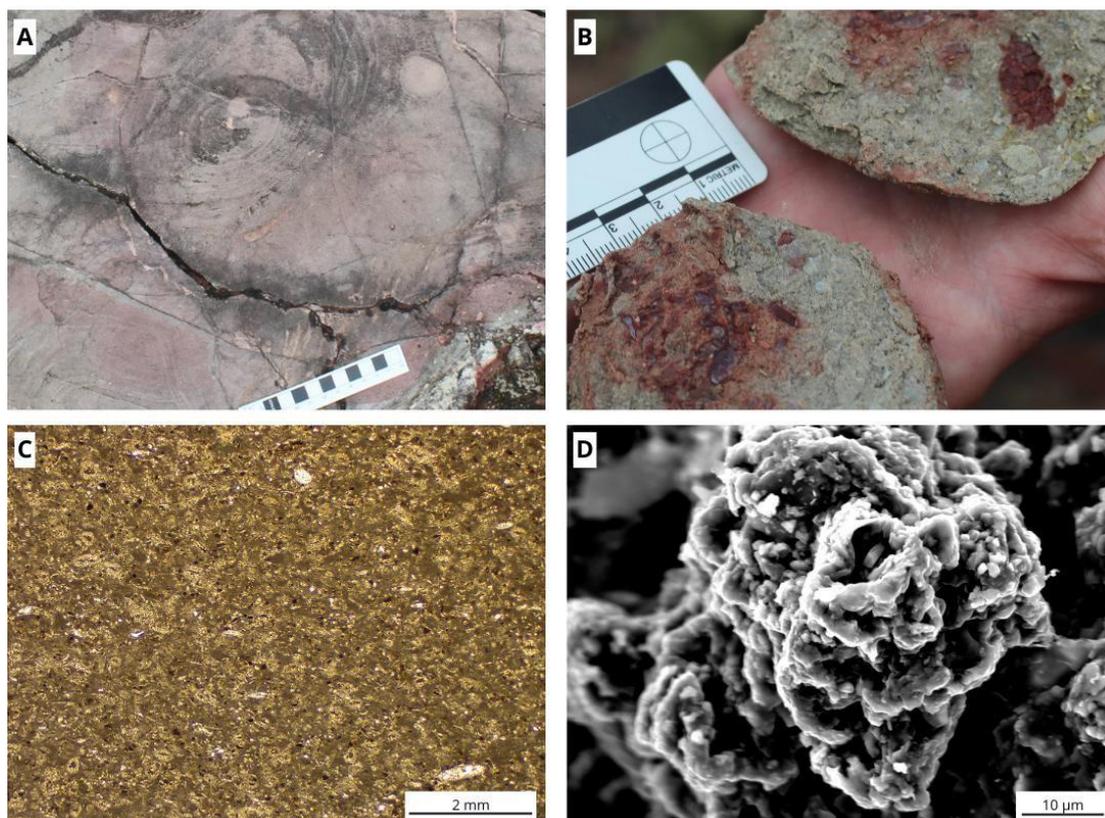


Figura 7. A. Visão superior da fácies Sw, as feições arredondadas são as estruturas cruzadas de onda; B. Porção da rocha remanescente, sem cimentação por calcita, preservando escamas e dentes de peixes; C. Calcita mosaico grosso a poiquilotópica substituindo pervasivamente todos os componentes primários da rocha. (//P); D. Detalhe dos agregados de cristais de calcita nas concreções. Imagem eletrônica em elétrons secundários.

O conteúdo fossilífero dessa fácies é dividido entre as porções cimentadas por calcita microcristalina a mosaico grosso e pelas porções não cimentadas remanescentes dos níveis de concreções coalescentes. O conteúdo fossilífero das porções cimentadas constitui fragmentos dentíferos de tetrápodes indeterminados e os restos do anomodonte *Tiarajudens eccentricus* (Cisneros *et al.*, 2011). Já o conteúdo das porções remanescentes não cimentadas é composto por dentes e escamas de peixes paleoniscídeos e escamas de peixes sarcopterígios (Actinistia). Ainda, no topo desta fácies foi identificadas feições de alteração pedogênica, como rizólitos, nódulos carbonáticos milimétricos (Fig. 6B-C) e a presença de vênulas preenchidas por calcita com bordas de óxidos de ferro e manganês e dendrites de mesma composição.

Interpretação: As estruturas de *wave ripples* associadas a ocorrência de pelóides argilosos indicam que a rocha original foi formada em ambientes lacustres/deltáicos causadas por tração em fluxo oscilatório (Lima *et al.*, 2024). Já os nódulos calcíticos e a presença de células calcificadas de plantas (rizólitos) indicam que o processo precipitação dos carbonatos ocorreu por alta concentração de soluto devido a variação sazonal do nível do lago, além de indicarem um período de nível baixo do lago e de exposição (Alekseeva, 2020).

6.1.3 Fácies Cm

Descrição: Argilito maciço avermelhado com a presença de óxidos de ferro e manganês substituindo a matriz argilosa.

Interpretação: Corpo lacustre/lagunar em que o processo de deposição das argilas está associado a baixa energia e a decantação (Miall, 1996).

6.1.4 Fácies St

Descrição: Pacotes espessos de 40 a 50 cm de arenito muito fino a fino, com estratificação cruzada tangencial (Fig. 8A). Como constituintes primários a rocha possui quartzo monocristalino, ortoclásio, microclínio, plagioclásio, biotita, presença de intraclastos lamosos e fragmentos de rochas metamórficas (Fig. 8B). Essa fácies apresenta moderada seleção com clastos angulares a sub-angulares de alta esfericidade. A fábrica é sustentada pelos grãos e cimento calcítico com hábito poiquilotópico, os clastos não apresentam orientação, com comuns contatos pontuais e longos, e raros côncavo-convexos, resultando em um empacotamento normal. Óxidos de ferro e manganês substituem constituintes primários e a calcita poiquilotópica.

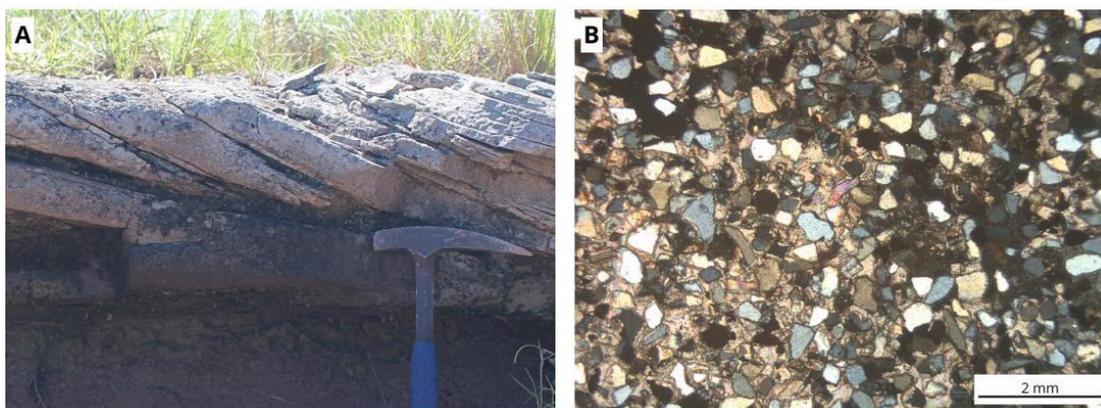


Figura 8. A. Visão geral da Fácies St, observe a estratificação cruzada tangencial; B. Arenito muito fino com grãos detríticos angulosos a subangulosos e cimentação por calcita poiquilotópica e. Polarizadores cruzados. (XP).

Interpretação: A estratificação cruzada tangencial indica que os sedimentos foram depositados por processos trativos unidirecionais num regime de fluxo inferior e são resultado da migração de dunas com crista sinuosa em contexto subaquoso (Lima *et al.*, 2024). A presença de intraclastos lamosos indica que houve o arranque de substrato, provavelmente do corpo lacustre/lagunar responsável pela deposição das fácies Ht e Cm. Essa interpretação, associada a presença de intraclastos extrabaciais, como os fragmentos de rochas metamórficas, pode-se entender que a deposição da fácies St se deu pela entrada de um braço de canal em um corpo lacustre/lagunar, gerando um fluxo hiperpicnal resultando em um delta de rio de baixa energia.

6.1.5 Fácies Sh

Descrição: Arenito muito fino a fino, com estratificação plano-paralela e presença de intraclastos lamosos arredondados centimétricos dispersos na rocha e esparsos fragmentos de lenhos silicificados e dentes de peixes paleoniscídeos (Fig. 9A-C). Como constituintes primários a rocha possui quartzo monocristalino, ortoclásio, microclínio e plagioclásio, biotita e intraclastos argilosos (Fig. 9D). Essa fácies apresenta moderada seleção com clastos angulares a sub-angulares de alta esfericidade. A fábrica é sustentada pelos grãos e cimento carbonático poiquilotópico, com comuns

contatos pontuais e longos, e raros côncavo-convexos, resultando em um empacotamento normal. Óxidos de ferro e manganês substituem constituintes primários e calcita poiquilotópica.

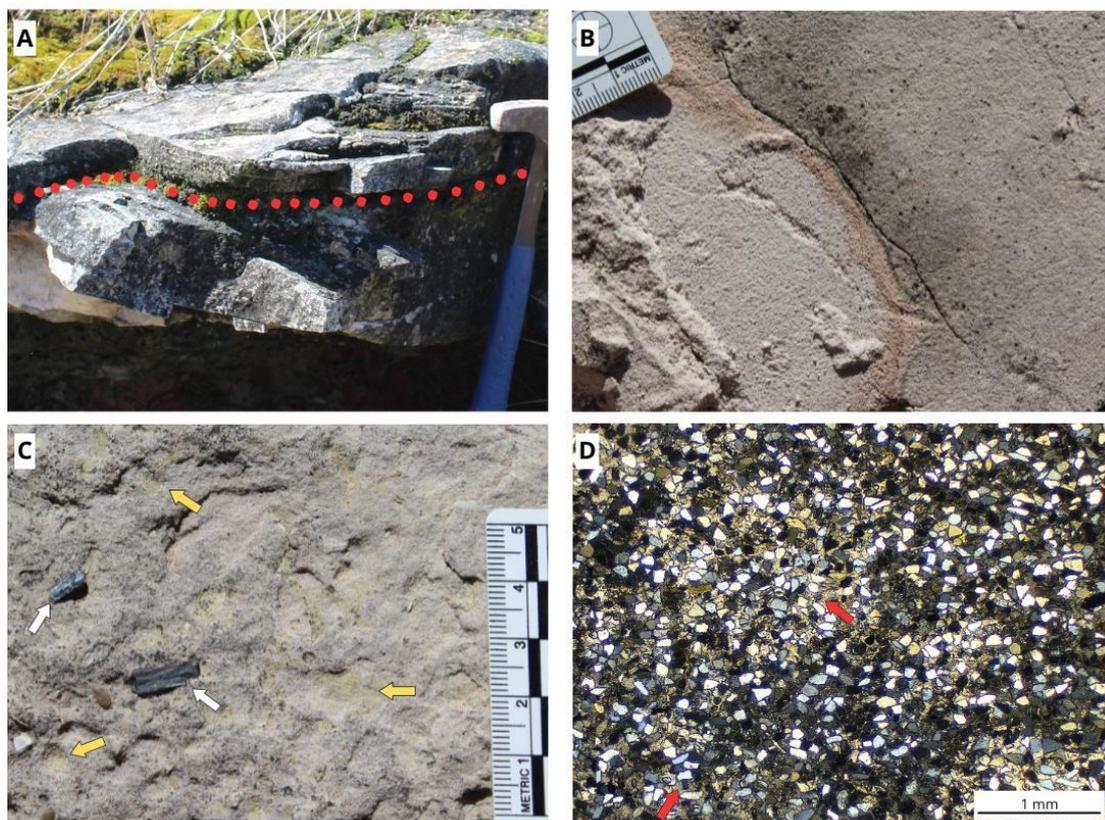


Figura 9. A. Limite abrupto entre as fácies St e Sh (em vermelho); B. Bioturbação alongadas no topo da camada Sh; C. Fragmentos de lenhos silicificados (setas brancas) e intraclastos lamosos esverdeados (setas amarelas); D. Arenito muitofino, com cimentação por calcita poiquilotópica (setas vermelhas). Polarizadores cruzados. (XP).

Interpretação: A diferença faciológica entre a fácies St e Sh é basicamente estabelecida pelas suas estruturas. Ambas se tratam de um arenito fino a muito fino com intraclastos lamosos. Porém, diferente da fácies St, o ambiente de deposição da fácies Sh se trata de leitos de rios formados por fluxo supercrítico unidirecional associado a descargas não canalizadas (Lima *et al.*, 2024), o que é refletido na presença dos elementos fossilíferos ausentes na fácies St.

6.1.6 Fácies Fm

Descrição: Siltito argiloso, maciço, com concreções carbonáticas que variam de arredondadas a alongadas, de até 15 cm. Na rocha ocorrem também nódulos de 2 à 4 mm e presença de óxidos/hidróxidos de ferro (possivelmente hematita) substituindo constituintes primários e a calcita.

Interpretação: Corpo lacustre/lagunar onde a deposição de sedimentos ocorria por suspensão e decantação de sedimentos finos durante correntes de baixa energia, fluxos decrescentes ou água parada (Miall, 1996).

6.2 Conteúdo fossilífero

6.2.1 Chondrichthyes, Elasmobranchii

Elasmobranchii é um subgrupo de Chondrichthyes (peixes cartilaginosos) representado pelos tubarões e pelas raias. Dentre suas principais características se destacam seu esqueleto, que é composto apenas por cartilagem prismática calcificada, a presença de cinco a sete fendas branquiais na região ventral (em raias) ou lateral (em tubarões) do corpo e um órgão reprodutor (cláspes) associado à nadadeira pélvica dos machos (Benton, 2014). Mais de mil espécies de Elasmobranchii já foram identificadas, contando espécies atuais e fósseis (Benton, 2014).

Durante a Era Paleozoica, onde o grupo surgiu no Neo-ordoviciano (Benton, 2014), alguns subgrupos se destacam pela sua morfologia diferenciada, quando comparadas as espécies viventes. Esse é o caso dos tubarões Xenacanthiformes, por exemplo. Estes, presentes do Carbonífero ao Triássico (Ginter *et al.*, 2010), foram tubarões distintos em vários aspectos, possuindo um longo crânio com um espinho cefálico na região dorsal posterior, grandes nadadeiras pares, uma alongada nadadeira dorsal que se estende pela maior parte do dorso e uma cauda difícercas simétrica

(Benton, 2014). Os fósseis encontrados desse grupo geralmente consistem em seus espinhos cefálicos e seus característicos dentes diplodontes (Pauliv *et al.*, 2017). Dentes diplodontes são caracterizados por possuírem uma coroa tricúspide com duas cúspides laterais proeminentes e uma cúspide mediana frequentemente reduzida, uma base expandida lingualmente com uma projeção basolabial e um botão coronal.

Würdig-Maciel (1975) descreveu para o Grupo Passa Dois do Rio Grande do Sul dentes isolados de tubarões xenacantídeos. Segundo Francischini *et al.* (2017), dentes com afinidades a *Wurdigneria* (Fig.10A) e indivíduos com morfologias semelhantes a *Xenacanthiformes* (28 dentes isolados) ocorrem em dois níveis do afloramento Barro Alto, além do holótipo da espécie *Triodus richterae* (Fig.10B) (Pauliv *et al.*, 2017). Além disso, no mesmo trabalho, Francischini *et al.* (2017) haviam mencionado a ocorrência de placas cefálicas de tubarões *Hybodontiformes* (Fig.10C), além de um único dente de *Euselachii* indeterminado para o afloramento Barro Alto. Novas análises refinaram a identificação desses materiais e apontam que o material isolado tem afinidade a *Sphenacanthidae* (Thiago Britto, comunicação pessoal), sendo possivelmente a primeira ocorrência de dentes desse grupo para o Permiano do Rio Grande do Sul (Fig.10D).

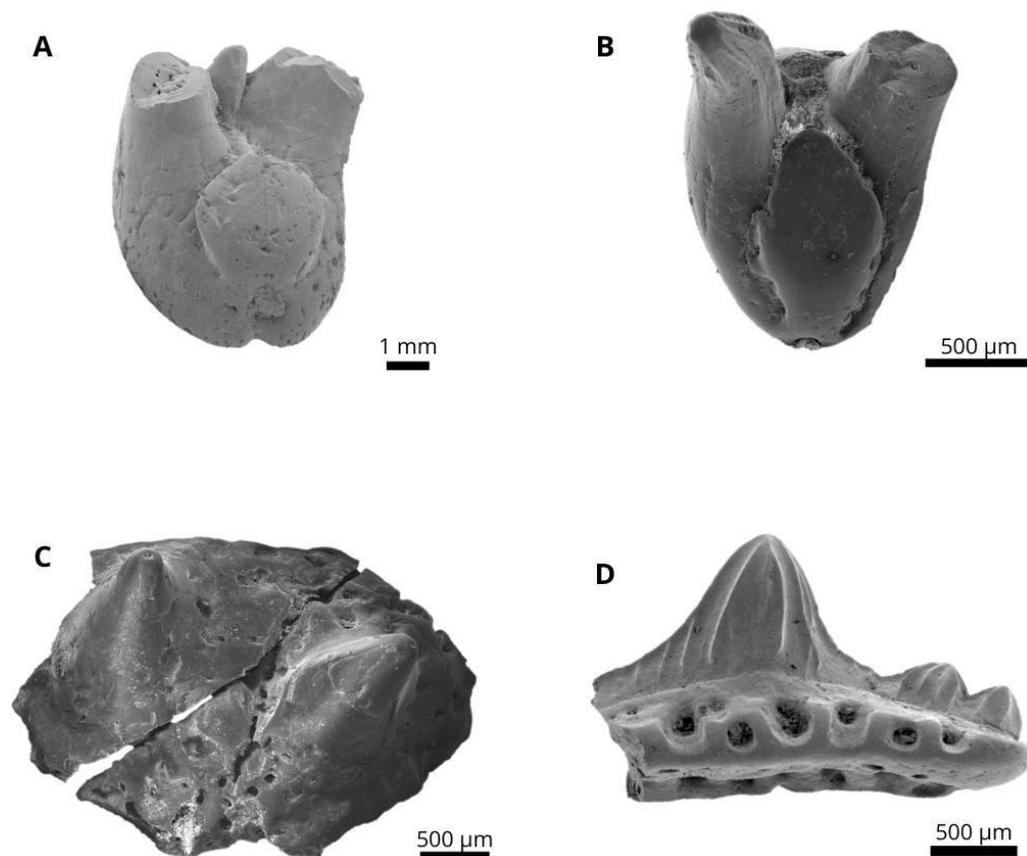


Figura 10. A. Dente de tubarão Xenacanthiforme com afinidade a *Wurdgneria*; B. Holótipo da espécie *Triodus richterae*; C. Placa cefálica de tubarão Hybodontiforme; D. Dente de tubarão com afinidade a Sphenacanthidae. (Imagem B. extraída de Pauliv *et al.*, 2017).

6.2.2 Osteichthyes

Osteichthyes é um grupo que compreende os peixes ósseos e os tetrápodes e representam o maior grupo de vertebrados, tanto em número de espécies quanto em número de indivíduos. Os peixes ósseos são divididos em dois clados: Actinopterygii e os Sarcopterygii, ambos surgindo no Neossiluriano e irradiando ao longo do Devoniano (Benton, 2014). Esses dois clados são diferenciados principalmente pela estrutura das suas nadadeiras.

6.2.2.1 Actinopterygii

Peixes Actinopterygii possuem as nadadeiras raiadas pares sustentadas por uma série de elementos radiais estreitos que podem ser cartilagosos ou ósseos conectados diretamente às cinturas. Um grupo de

maior interesse para esse trabalho é a dos peixes paleonisciformes. Os paleonisciformes constituem um grupo parafilético, surgindo no Devoniano e se extinguindo no Cretáceo (Dias *et al.*, 2010). Esses peixes eram distintos por apresentarem supra-orbitais adicionais e um dermo- esfenótico trapezoidal, caracteres compartilhados com Actinopterygii mais derivados (Benton, 2014). Além disso, possuíam escamas características chamadas de ganóides. Essas escamas são compostas por ossos lamelares cobertos por camadas de ossos vascularizados, que por sua vez é coberta por uma camada externa de um enamelóide denominado ganoína (Sire *et al.*, 2009). Outra característica marcante desse grupo são seus dentes, que possuem um capuz apical formado por acrodina.

No trabalho de Richter *et al.* (1983) foram descritos ictiodontes e escamas de peixes paleonisciformes, classificados em morfótipos para o Grupo Passa Dois (Fig.2) do Rio Grande do Sul. Foram descritos dez morfótipos de ictiodontes e cinco morfótipos de escamas (Quadro 1). Destes, seis morfótipos de ictiodontes foram encontrados no afloramento Barro Alto, bem como dois dos cinco morfótipos de escamas (Fig.11A-B).

Quadro 1. Características dos morfótipos de ictiodonte (I) e escamas (P) de peixes paleonisciformes encontrados no afloramento Barro Alto (São Gabriel, RS), segundo Richter *et al.* (1983).

Morfótipos	Características	Ilustração
I-1	Ictiodonte cônico e reto com superfície lisa. Capuz apical liso.	
I-2	Ictiodonte reto, holo- ou hemicostelado, com costelas longitudinais contínuas desde a base até o limite inferior do capuz apical. Capuz apical liso.	

I-3	Ictiodonte cônico e curvo com superfície lisa. Capuz apical liso.	
I-4	Ictiodonte cônico e curvo, holo- ou hemicostelado, com costelas longitudinais contínuas desde a base até o limite inferior do capuz apical. Capuz apical liso.	
I-6	Ictiodonte cônico sigmoide, com superfície lisa. Capuz apical liso.	
I-7	Ictiodonte cônico sigmoide, holo- ou hemicostelado, com costelas longitudinais contínuas desde a base até o limite inferior do capuz apical. Capuz apical liso.	
P-1	Margens lisas e superfície externa pontuada (abertura dos canais ascendentes que atravessam a ganoína). Às vezes, curtos sulcos na ganoína presentes.	
P-2	Margens lisas e superfície externa com cerca de dez costelas longitudinais, subparalelas, de contornos arredondados.	

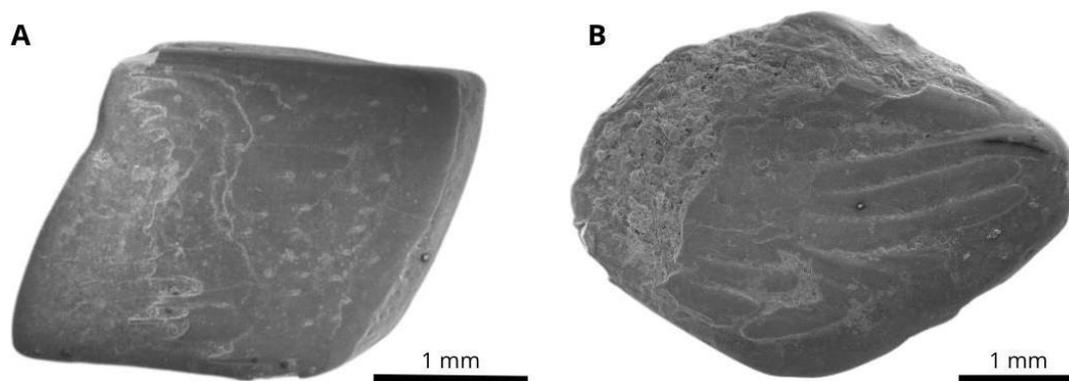


Figura 11. A. Escama de peixe paleonisciforme do tipo P-1; B. Escama do tipo P-2.

6.2.2.2 Sarcopterygii

Os Sarcopterygii são representados pelos Actinistia (celacantos), Dipnoi (peixes-pulmonados) e Tetrapodomorpha (grupo que inclui os tetrápodes e os táxons mais proximamente aparentados) (Ahlberg & Johanson, 1998). São um grupo de peixes de nadadeiras musculares e lobadas. Além disso, possuem escamas cosmóides, que são características desse grupo. Nas escamas cosmóides um tecido ósseo denso é coberto por uma camada esponjosa com grandes espaços vasculares. Acima dessa camada ocorrem pequenas câmaras formando um sistema de poros e canais. Esse sistema tem sido chamado de cosmina (Francillon-Vieillot *et al.*, 1990).

No afloramento Barro Alto, escamas cosmóides de peixes Sarcopterygii (Actinistia) (Fig.12A) ocorrem em dois níveis distintos (Fig.4). Além disso, uma placa dentária de Dipnoi foi encontrada em lâmina petrográfica do segundo nível fossilífero da fácies Ht (Fig.12B).

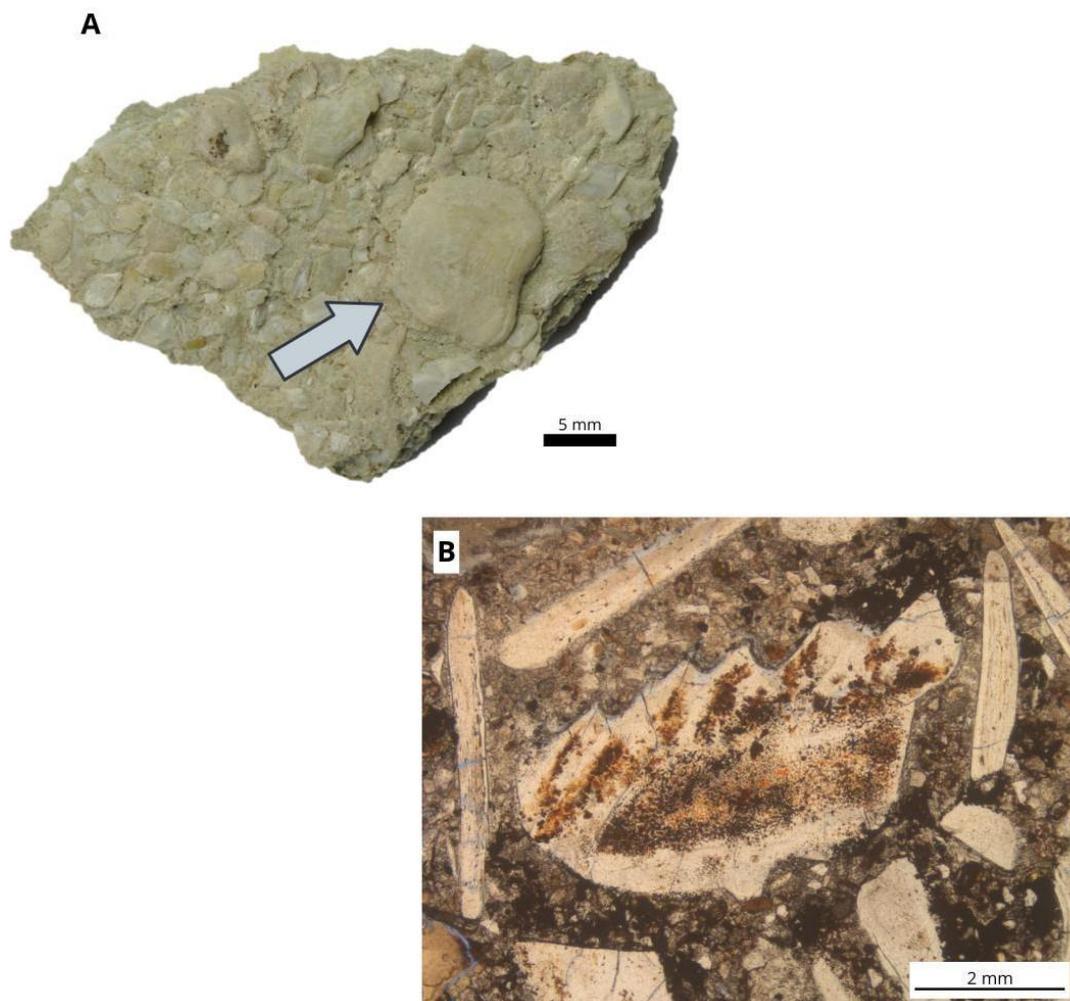


Figura 12. A. Escama de Actinistia do primeiro nível fossilífero do afloramento Barro Alto (seta cinza); B. Placa dentária de Dipnoi do segundo nível fossilífero da fácies Ht. (//P).

6.2.3 Tetrapoda, Temnospondyli

Os Temnospondyli formam uma ordem extinta de anfíbios primitivos que surgiram no Carbonífero e se estendem até os dias atuais com os Lissamphibia (Benton, 2014). Mais de 170 gêneros e 40 famílias já foram descritas para esse grupo. As principais características morfológicas dos Temnospondyli são um corpo e uma cabeça grandes, patas curtas e uma cauda longa. Ainda, como os anfíbios modernos, possuíam fases de metamorfose e hábitos aquáticos e terrestres (Benton, 2014).

Em coletas de campo no afloramento Barro Alto foi encontrada um intercentro de uma vértebra isolada (*ex situ*) de um anfíbio *Temnospondyli* indeterminado (Fig.13A-B).

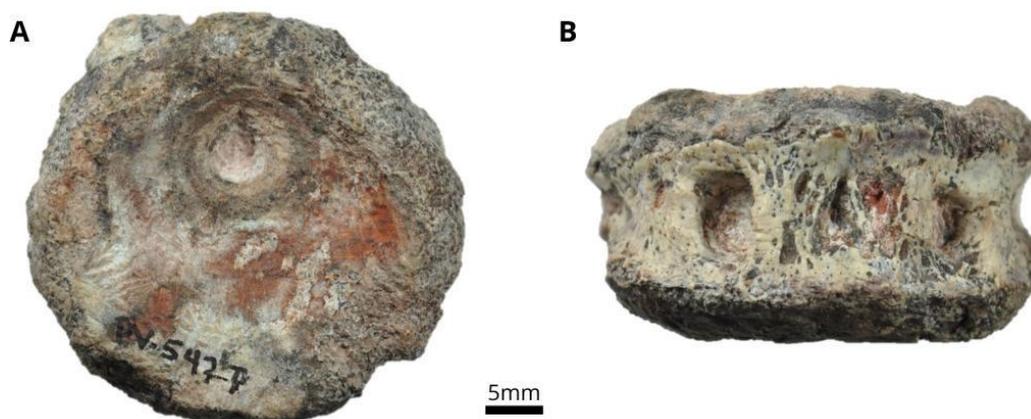


Figura 13. A-B. Intercentro de vértebra de *Temnospondyli* encontrada *ex situ* no afloramento Barro Alto. A. Vista anterior; B. Vista ventral.

6.2.4 Tetrapoda, Anomodontia

Os anomodontes são um grupo de terápsidos (que inclui os dicinodontes) e foram o grupo mais abundante e diversificado de tetrápodes do Permiano (Cisneros *et al.*, 2015). O grupo tem uma distribuição geográfica global e é um dos poucos grupos de tetrápodes conhecidos em todos os continentes (Liu *et al.*, 2010).

No sítio Barro Alto, foi encontrado o único exemplar conhecido de *Tiarajudens eccentricus*, descrito por Cisneros *et al.* (2011) como um anomodonte basal e táxon-irmão de *Anomocephalus africanus* (Bacia Karoo, África do Sul; Modesto *et al.*, 1999). O material trata-se da porção lateral esquerda do crânio parcialmente preservado (Fig.14A) e elementos do pós-crânio, como braço (úmero, rádio, ulna e dois dígitos), uma perna (tíbia, astrágalo, calcâneo, tarsal, metatarsais e os cinco dígitos do pé), parte da cintura escapular (clavícula, escapula e coracoide) e a gastrália (Fig.14B-C). Os materiais encontram-se parcialmente articulados. Curiosamente, todos pertencem à parte esquerda do animal, não tendo sido encontrado nenhum

material referente à parte direita. A parte externa do crânio foi encontrada virada para baixo.

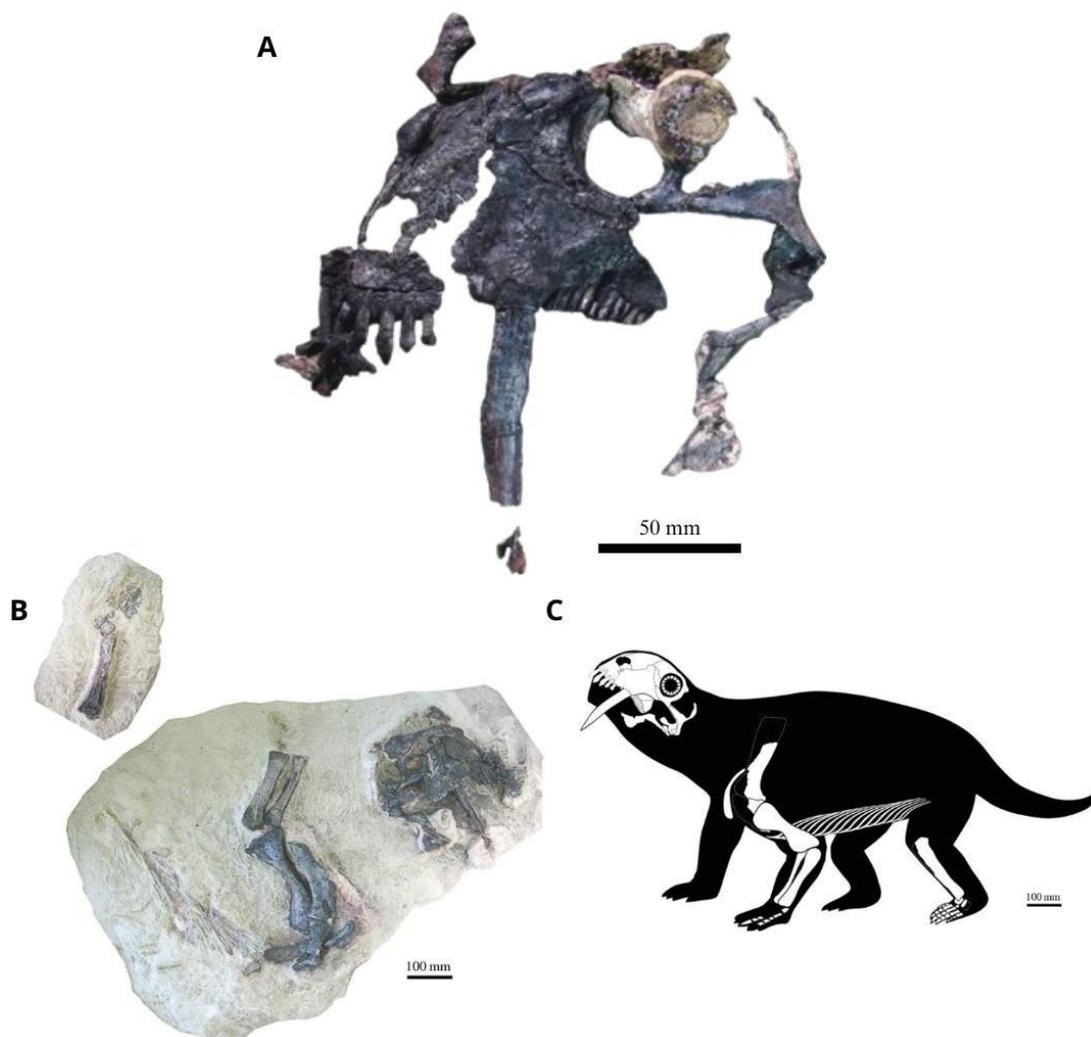


Figura 14. A. Crânio em vista lateral esquerda de *Tiarajudens eccentricus*; B. Blocos de arenito contendo o material fóssil ainda com porções articuladas; C. Reconstrução do animal *Tiarajudens* com o material esquelético encontrado. Imagens extraídas de Cisneros *et al.*, (2015).

6.2.5 Tetrapoda, Archosauromorpha

Arcossauros são répteis (diápsidos) que, após o fim do Período Permiano, tiveram sua diversidade e abundância exponencialmente aumentadas, chegando a dominar os ecossistemas terrestres e aéreos, além

de grande presença também nos ecossistemas marinhos (Ezcurra *et al.*, 2021). Os arcossauros fazem parte de um grupo maior conhecido como Archosauomorpha, que inclui arcossauros e táxons mais próximos a eles do que ao grupo dos Lepidosauria (e.g., tuataras e lagartos). As mais antigas evidências de archosauomorpha são fósseis conhecidos do Período Permiano da Alemanha, Inglaterra, Tanzânia e Rússia, com pouquíssimas espécies conhecidas (Ezcurra *et al.*, 2021).

Um fragmento distal de úmero esquerdo de um Archosauomorpha indeterminado foi encontrado através da preparação dos materiais provenientes do afloramento Barro Alto (Fig.15A-B). O fragmento foi descrito por Martinelli *et al.* (2017) e atribuído a Archosauomorpha pela ausência de forâmes, característica compartilhada pelo grupo. E pela idade relativa do afloramento, esse material representa o mais antigo Archosauomorpha já descrito para toda a América do Sul.

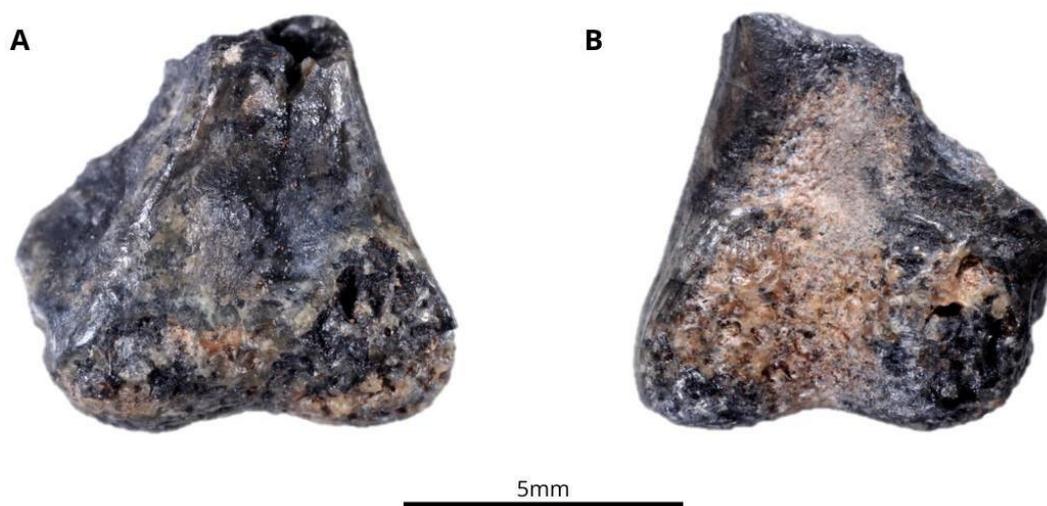


Figura 15. A-B. Fragmento distal de úmero esquerdo de Archosauomorpha. A. Vista anterior; B. Vista posterior. Imagens extraídas de Martinelli *et al.* (2017).

6.2.6 Tetrapoda, Amniota indeterminados

Ossos dentíferos de um amniota ainda não identificado fora encontrado associado as concreções da fácies Sw e está em processo de análise

6.2.7 Coprólitos de vertebrados

Coprólitos são vestígios indiretos de animais, mais especificamente suas fezes fossilizadas. Uma variedade de características como forma, marcas de superfície, inclusões e textura têm sido usadas para reconhecer, classificar e diferenciar os coprólitos de materiais abiogênicos (Dentzien-Dias *et al.*, 2012). Coprólitos podem ser usados para obtermos informações a respeito da dieta, da estrutura do sistema digestivo, da diversidade da biota, das relações entre predador-presa ou animal-planta e, indiretamente, do paleoambiente em que o animal viveu (Dentzien-Dias *et al.*, 2012).

Foram encontrados fragmentos de coprólitos espirais, com formatos semi-triangulares e parcialmente fraturados/corroídos (Fig.16). Em alguns casos, ainda é possível ver as estruturas de voltas convolutas.

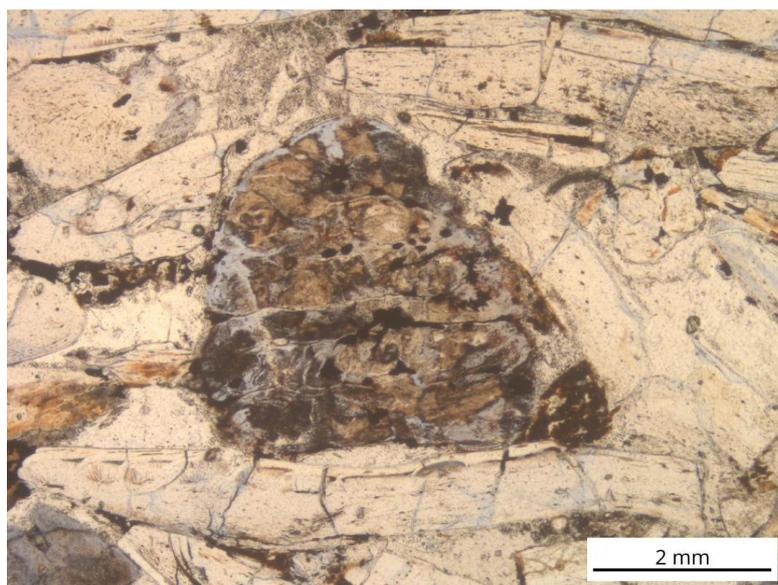


Figura 16. Fragmento de coprólito visto em lâmina delgada (seção basal) do primeiro nível fossilífero do afloramento Barro Alto. (//P).

6.2.8 Elementos paleobotânicos

6.2.5.1 *Charcoal*

O carvão (*charcoal*) é produzido pela reação de combustão de material vegetal em razão de determinadas condições de oxigênio na atmosfera e sua ocorrência no registro fóssil pode ser amplamente equiparada à incidência de incêndios paleoflorestais (Jones *et al.*, 1991). As características diagnósticas macroscópicas do *charcoal* são fraturas regulares em formas cúbicas, diâmetro ≥ 2 mm, alta fragilidade, capacidade de marcar o papel e um brilho sedoso (Jones *et al.*, 1991).

No sítio Barro Alto, uma camada expressiva presente na primeira fácies Ht com concentrações de *charcoal* proveniente gimnospermas e fragmentos de plantas microscópicas ocorrem associadas também a concentrações dos materiais fossilíferos de peixes e tetrápodes segundo Manfroi *et al.* (2015). Porém, não foram encontrados materiais de proveniência de incêndios paleoflorestais nos materiais analisados pré- e pós- etapa de campo do presente trabalho, apesar de o nível o qual esses elementos deveriam ocorrer (segundo Manfroi *et al.*, 2015) ter sido amplamente amostrado.

6.2.5.2 Folhas

As licófitas constituem um grupo de plantas vasculares sem sementes, que estavam anteriormente incluídas em um único grupo parafilético denominado pteridófitas (Santos *et al.*, 2023). As licófitas constituem o grupo mais antigo de plantas vasculares e são caracterizadas pelas folhas do tipo microfilos, pelos esporângios e pelo protoxilema caulinar exarco. São plantas homosporadas ou heterosporadas, com os microfilos isófilos dispostos em espiral ou formando verticilos, ou ainda heterófilos dispostos em fileiras. Atualmente estão representadas no mundo por cerca de 1.338 espécies distribuídas em 18 gêneros, sendo que no Brasil ocorrem 188 espécies em 11 gêneros (Santos *et al.*, 2023).

Folhas com afinidade a licófitas foram encontradas associadas ao segundo nível fossilífero da primeira fácies Ht do afloramento Barro Alto (Fig.17). As folhas são planas e achatadas e apresentam um padrão micrófilo em que possuem apenas uma única nervura central não ramificada.



Figura 17. Folha com afinidade a licófitas encontrada na preparação dos materiais do afloramento Barro Alto.

6.2.5.3 Fragmentos de lenhos

Fragmentos de lenhos silicificados foram encontrados associados as fácies Sh ao longo de toda a extensão vertical do afloramento (Fig.18), tentativamente atribuídos a gimnospermas.

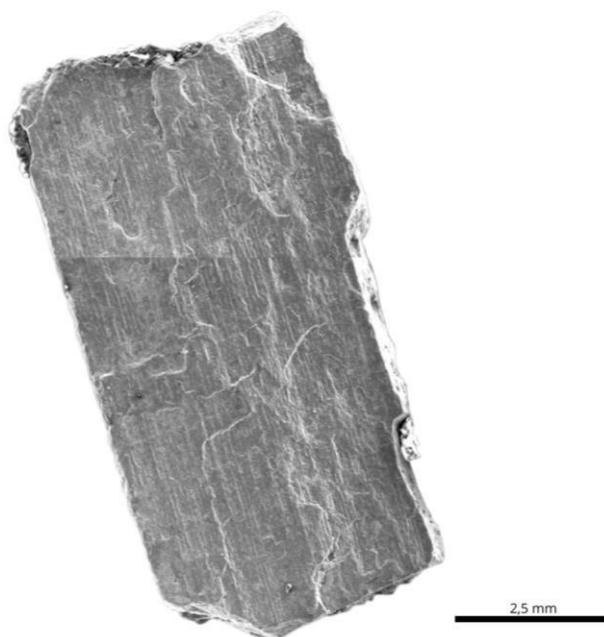


Figura 18. Fragmento de lenho silicificado encontrado na fácies Sh.

7 DISCUSSÕES

7.1 Modelo deposicional e reconstrução paleoambiental

A primeira interpretação paleoambiental para o afloramento Barro Alto foi proposta por Cisneros *et al.* (2015), onde o paleoambiente foi interpretado como planícies de inundação cortada por pequenos canais fluviais. As espessas camadas de heterolitos e argilitos com estruturas trativas e, por vezes, maciças, bem como a presença de arenitos finos a muito finos com estruturas cruzadas acanaladas e plano-paralelas, foram os critérios para a interpretação. Contudo, integrando características faciológicas, conteúdo fossilífero e análises petrológicas e de caracterização mineral e elementar (DRX e MEV), nota-se que o afloramento Barro Alto possui uma evolução paleoambiental mais complexa do que se propunha originalmente.

A associação de fácies Ht, Cm e Fm indica que nos períodos em que foram depositadas essas camadas predominava um sistema de baixa energia, onde a deposição de sedimentos argilosos ocorria por suspensão com episódicos aumentos de energia, resultando na deposição dos níveis sílticos. A deposição de sedimentos nesses episódios ocorreu por tração em fluxo oscilatório gerando as estruturas de marcas onduladas simétricas. Isso fica ainda mais evidente quando se percebe que o conteúdo fossilífero, presente apenas na fácies Ht, encontram-se nas camadas mais sílticas. Além disso, pelos aspectos tafômicos desses conteúdos, como o diferente grau de dissolução das escamas e o grau de fraturamento dos dentes, indica que esses episódicos aumentos de energia remobilizavam parte do conteúdo fossilífero e o redepositavam, gerando mistura temporal dos elementos constituintes.

Uma atenção especial deve ser dada ao segundo nível fossilífero presente na primeira fácies Ht que, dentre todos, apresenta a maior concentração e diversidade de conteúdo bioclástico. A presença de *charcoal* nesse horizonte (segundo Manfroi *et al.*, 2015) indicaria a incidência de incêndios vegetacionais. Esses incêndios, geralmente induzidos pela seca, removem a vegetação pela queima, deixando apenas fragmentos de lenhos

carbonizados (*charcoal*) quando o processo de combustão não é completo. Além disso, esses eventos desestabilizariam os solos, aumentando a erosão e a concentração de materiais inconsolidados. Manfroi *et al.* (2015) sugeriram que esse nível foi depositado em um canal fluvial. Contudo, a fácies Ht não apresenta características e nem estruturas de canais fluviais como estratificações cruzadas acanaladas, mas sim de um corpo lacustre/lagunar que passava por variações de energia, evidenciada pela intercalação de argilitos e siltitos, como mencionado anteriormente. Uma das possibilidades para a concentração desse material está associada a episódios de aumento na carga de sedimentos, que geraram as camadas sílticas, pela ocorrência de chuvas torrenciais que carregaram esses sedimentos inconsolidados para dentro do corpo d'água, além de remobilizar o material já existente no fundo (como os dentes e escamas de peixes). Porém, a maior probabilidade é a de que esses sedimentos inconsolidados, incluindo o *charcoal*, tenham sido arrastados para dentro do corpo lacustre/lagunar nas regiões marginais pela ação de ventos e ondas que geraram as estruturas oscilatórias (*ripples* simétricas) nos níveis sílticos que também retrabalhavam e remobilizavam o conteúdo bioclástico. Contudo, na etapa de prospecção e de análises em laboratório, realizadas para este trabalho, não foram encontradas evidências de *charcoal* nos níveis apontados por Manfroi *et al.* (2015), de forma que as inferências paleoambientais aqui realizadas consideram o material encontrado e descrito por estes autores.

As ocorrências das fácies Sw indicam que, naqueles momentos, canais fluviais invadiram o sistema lacustre aportando sedimentos, que foram retrabalhados pelo fluxo oscilatório. E ainda, as feições de alteração pedogênica, como rizólitos, sugerem que o corpo lacustre/lagunar passava por variações sazonais no nível d'água expondo suas margens, evidência reforçada pelas condições tafonômicas do Anomonte *Tiarajudens eccentricus*, o qual só foram preservados elementos da parte lateral esquerda do animal, apresentando ainda porções articuladas. Uma das possíveis explicações para esse acontecimento é a morte do animal às margens do corpo d'água, de modo a ser soterrado (ao menos parcialmente) deitado, com o lado esquerdo em contato com sedimentos finos, enquanto a parte direita

ficou exposta às ações intempéricas. Essa hipótese é parecida com as propostas para dinossauros anquilossauros feitas por Lefeld (1971) e Currie *et al.* (2011). Nesses casos, os espécimes foram todos (mais de dez) encontrados em posições lateralizadas na rocha. Nessas posições, assim como a de *Tiarajudens eccentricus*, os membros voltados para baixo teriam sido protegidos pelo resto do corpo, o que explicaria o fato de terem sido encontrados elementos de somente um dos lados do animal.

As fácies St e Sh são interpretadas dentro de uma associação de fácies de canais fluviais, devido a suas estruturas trativas unidirecionais de regime de fluxo inferior e superior, respectivamente. Os intraclastos lamosos associados à ocorrência de fragmentos de lenhos silicificados centimétricos, esparsos dentes de peixes paleonisciformes (mais resistentes do que as escamas) e uma grande concentração de pelóides sugerem que estas fácies podem ser interpretadas em um contexto de planície deltaica.

Em relação a sua afinidade aos membros da Formação Rio do Rasto, ambos os membros em suas interpretações deposicionais possuem corpos d'água lacustres/lagunares com influências de sistemas fluviais ocasionalmente deltaicos (Schneider *et al.*, 1974; Rohn *et al.*, 2005). Pelas interpretações apresentadas neste trabalho e pela Formação Rio do Rasto se tratar de um sistema progradacional do estágio de continentalização da Bacia do Paraná, e ainda, pela ausência de uma divisão clara dos membros no estado do Rio Grande do Sul, o posicionamento do afloramento Barro Alto é incerto. Contudo, é possível notar que existe uma tendência de aumento de influência fluvial em direção ao topo, o que poderia denotar uma transição entre os membros Serrinha e Morro Pelado.

7.2 Assembleia de microrrestos de vertebrados e sua importância na reconstrução paleontológica

Apesar de parte dos materiais de vertebrados do afloramento Barro Alto já terem sido descritos, esses materiais, com exceção da espécie

Triodus richterae (Pauliv *et al.*, 2017), pertenciam a sinápsidos anomodontes e diápsidos arcossauromorfos, enquanto a grande maioria dos elementos fossilíferos do afloramento, representados por microrrestos de vertebrados, eram apenas mencionados como constituintes presentes nas matrizes das rochas provenientes desses materiais, sem nenhum tipo de estudo ou classificação específica. De maneira similar, Freitas *et al.* (2023) descreveram para a Formação Adamantina do Grupo Bauru (Cretáceo Superior, São Paulo), uma assembleia de microrrestos de vertebrados que representa maioria significativa do conteúdo fossilífero para a Formação que até aquele momento também não havia sido reportada.

A assembleia de microrrestos de vertebrados descrita neste trabalho para o afloramento Barro Alto sugere uma ampla diversidade de animais aquáticos, principalmente quando considerado o segundo nível fossilífero da fácies Ht. Como no caso do estudo da Formação Adamantina (Freitas *et al.*, 2023), essa assembleia inclui táxons comumente reportados para o Grupo Passa Dois da Bacia do Paraná como peixes paleoniscídeos, diferentes espécies de tubarões Xenacanthiformes, peixes sarcopterígios (*Actinistia* e *Dipnoi*), além de *Hybodontiformes* e outros *Euselachii* não-Xenacanthiformes (Wüdig-Maciel, 1975; Richter, 1983). Como mencionado anteriormente, o dente isolado com afinidade a *Sphenacanthidae* ainda está em análise, porém, se atribuído a esse grupo, essa ocorrência se tornará a primeira para o Permiano do Rio Grande do Sul. Quanto aos tetrápodes terrestres, como o fragmento de úmero de arcossauomorfo (Martinelli *et al.*, 2017) e a vértebra isolada de *Temnospondyli*, as evidências apontam que esses materiais devam ter sido transportados de localidades mais distantes para o local onde foram encontrados, o fragmento de úmero, pelo seu grau de fraturamento e arredondamento das extremidades e a vértebra de anfíbio encontrada *ex situ*, sem procedência estratigráfica.

A concentração de materiais de animais aquáticos como peixes ósseos e cartilagosos de diferentes grupos é significativamente maior do que a de tetrápodes terrestres, o que é de se esperar para um ambiente interpretado como um corpo d'água lacustre/lagunar que eventualmente era invadido por braços de rios formando deltas.

7.3 Idade relativa com base em relações bioestratigráficas

Modesto *et al.* (1999) descreveram o táxon *Anomolocephalus africanus*, o qual posteriormente Cisneros *et al.* (2011), ao descrever *Tiarajudens eccentricus*, considerou como táxon-irmão e baseou a idade do afloramento Barro Alto nessa relação entre os dois táxons.

Anomolocephalus foi encontrado em uma localidade atribuída à Formação Abrahamskraal, da bacia sul-africana do Karoo (Rubidge e Day, 2020). O táxon foi atribuído à Zona de Associação (ZA) de *Tapinocephalus* por Modesto e Rubidge (2000). Essa ZA é dividida em duas subzonas e compreende todo o estágio Capitaniano (Day *et al.*, 2022), que é a porção superior do Guadalupiano (mesopermiano) (Fig.2). Contudo, Rubidge *et al.* (2023) passaram a considerar o táxon *Anomolocephalus* como pertencente a uma ZA mais antiga, a ZA de *Eodicynodon*. Essa zona, por sua vez, compreende quase todo o estágio Wordiano, um estágio mais antigo do que o Capitaniano, ou seja, sugerindo que o táxon africano seja mais velho do que o proposto originalmente.

Essa alteração poderia se traduzir para o afloramento Barro Alto, porém a Formação Rio do Rasto compreende desde o Wordiano até o final do Permiano e, por não ter um claro ordenamento bioestratigráfico baseado em vertebrados, além de seus membros terem uma classificação litoestratigráfica indivisa no estado do Rio Grande do Sul (como discutido na seção 7.1), não há como ter certeza do posicionamento temporal do afloramento Barro Alto com base na mudança de idade relativa do táxon africano, pois com exceção dessa relação entre os táxons, a posição do afloramento Barro Alto dentro da Formação Rio do Rasto é incerta devido à falta de outros elementos que pudessem elucidar esse problema, por enquanto.

8 CONCLUSÕES

O contexto paleoambiental interpretado para o afloramento Barro Alto se trata de um corpo lacustre/lagunar, que sofria variações sazonais no nível d'água, e que era eventualmente invadido por canais fluviais possivelmente meandrantess, gerando pequenos deltas de baixa energia. Além disso comportava uma complexa biodiversidade de vertebrados, com diferentes grupos de peixes ósseos, como actinopterygii e sarcopteryii, e cartilaginosos, como os tubarões xenacanthiformes e hybodontiformes além de exemplares de tetrápodes terrestres como sinápidos e diápsidos e elementos paleobotânicos que são representados por folhas atribuídas a licópsidas e fragmentos de lenhos silicificados tentativamente atribuídos a gimnospermas. É possível que novos materiais como de diferentes táxons de peixes ósseos e cartilaginosos e até mesmo tetrápodes terrestres possam vir a serem descritos para o afloramento Barro Alto.

REFERÊNCIAS

- Ahlberg, P.E.; Johanson, Z. (1998). Osteolepiforms and the ancestry of tetrapods. *Nature*, 395: 792-794.
- Alekseeva, T. V. (2020). Rhizoliths in Devonian and Early Carboniferous paleosols and their paleoecological interpretation. *Eurasian Soil Science*, 53(4), 405-419.
- Barcellos, M. T. (1975). Estudo de escamas e dentes de peixes da Fácies Budó, Subgrupo Itararé, RGS. *Boletim Paranaense de Geociências*, 32, 3-65.
- Benton, M. J. (2014). *Vertebrate palaeontology*. Vol. 1, 4ª edição. John Wiley & Sons.
- Bryant, W. L. (1929). Fossil fish remains from the Permian tillite of Brazil. *Bulletin of the Geological Society of America*, 40, 424-426.
- Cisneros, J.C.; Abdala, F; Rubidge, B.S.; Dentzien-Dias, P.C.; Bueno, A.O. (2011). Dental Occlusion in a 260-Million-Year-Old Therapsid with Saber Canines from the Permian of Brazil. *Science*, Vol. 331, edição 6024: 1603-1605.
- Cisneros, J.C.; Abdala, F; Jashashvili, T.; Bueno, A.O.; Dentzien-Dias, P.C. (2015). *Tiarajudens eccentricus* and *Anomocephalus africanus*, two bizarre anomodonts (Synapsida, Therapsida) with dental occlusion from the Permian of Gondwana. *Royal Society open science*, vol 2, edição 7: 150090.
- Cisneros, J.C.; Dentzien-Dias, P.C. 2008. Uma nova localidade fossilífera no Permiano do Rio Grande do Sul: a primeira associação de vertebrados, icnofósseis e plantas na Formação Rio do Rasto. In: VI Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados, 67, vol. 1.
- Cisneros, J. C., Dentzien-Dias, P., & Francischini, H. (2021). The Brazilian pareiasaur revisited. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 758802.
- Costa, P. S. (2015). Estudo palinológico do Grupo Itararé (Permiano Inferior, Bacia Do Paraná) no afloramento do roteiro da “Coluna White”, Lauro Müller, SC.
- Currie, P. J., Badamgarav, D., Koppelhus, E. B., Sissons, R., & Vickaryous, M. K. (2011). Hands, feet, and behaviour in *Pinacosaurus* (Dinosauria: Ankylosauridae). *Acta Palaeontologica Polonica*, 56(3), 489-504.
- Dal Corso, J., Song, H., Callegaro, S., Chu, D., Sun, Y., Hilton, J., ... & Wignall, P. B. (2022). Environmental crises at the Permian–Triassic mass extinction. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(3), 197-214.
- Day, M. O., Ramezani, J., Frazer, R. E., & Rubidge, B. S. (2022). U-Pb zircon age constraints on the vertebrate assemblages and palaeomagnetic record of

the Guadalupian Abrahamskraal Formation, Karoo Basin, South Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 186, 104435.

Dentzien-Dias, P. C., de Figueiredo, A. E. Q., Horn, B., Cisneros, J. C., & Schultz, C. L. (2012). Paleobiology of a unique vertebrate coprolites concentration from Rio do Rasto formation (Middle/Upper Permian), Paraná Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 40, 53-62.

Dentzien-Dias, P. C., Poinar Jr, G., de Figueiredo, A. E. Q., Pacheco, A. C. L., Horn, B. L., & Schultz, C. L. (2013). Tapeworm eggs in a 270 million-year-old shark coprolite. *PLoS One*, 8(1), e55007.

Dias, E. V., & Barberena, M. C. (2001). A temnospondyl amphibian from the Rio do Rasto Formation, Upper Permian of southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 73, 135-143.

Dias, E. V., Vega, C. S., & Canhete, M. V. U. (2010). Microstructure of paleoniscid fish scales from Irati Formation, Permian (Cisuralian) of Paraná Basin, Brazil. *Gaea: Journal of Geoscience*, 6(2).

Ezcurra, M. D., Jones, A. S., Gentil, A. R., & Butler, R. J. (2021). Early archosauromorphs: the crocodile and dinosaur precursors.

Francillon-Vieillot, H., De Buffrénil, V., Castanet, J. D., Géraudie, J., Meunier, F. J., Sire, J. Y., ... & De Ricqlès, A. (1990). Skeletal biomineralization: patterns, processes and evolutionary trends. *Microstructure and mineralization of vertebrate skeletal tissues*, 1, 471-548.

Francischini, H.; Dentzien-Dias, P.; Guerra-Sommer, M.; Menegat, R.; Santos, J.O.S.; Manfroi, J.; Schultz, C.L. (2018). A middle permian (roadian) lungfish aestivation burrow from the Rio do Rasto Formation (Paraná Basin, Brazil) and associated U-Pb dating. *Palaïos*, 33 (2): 69–84.

Francischini, H.; Leuzinger, L.; Martinelli, A.G.; Soares, M.B.; Schultz, C.L.; Vennemann, T. (2017). New materials from the Barro Alto site (Rio do Rasto Formation, Guadalupian) and preliminary isotopic ($\delta^{18}\text{O}$) data. *In: BOLETIM DE RESUMOS PALEORS*, 35, 2017.

Freitas, R. C., Batezelli, A., Muniz, F. P., Ribeiro, D. C., Ruiz, J. V., Alves, Y. M., ... & Montefeltro, F. C. (2023). A microvertebrate assemblage from the Adamantina Formation (Bauru group, upper cretaceous) in São Paulo state, Brazil. *Cretaceous Research*, 150, 105589.

Ginter, M., Hampe, O., Duffin, C. J., & Schultze, H. P. (2010). Handbook of paleoichthyology. *Volume 3D. Chondrichthyes. Paleozoic Elasmobranchii: Teeth*.

Gordon Jr, M. (1947). Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos* 38: 1-20.

Harrison, C. J., & Morris, J. L. (2018). The origin and early evolution of vascular plant shoots and leaves. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1739), 20160496.

Henderson, C. M., Shen, S. Z., Gradstein, F. M., & Agterberg, F. P. (2020). The permian period. In *Geologic time scale 2020* (pp. 875-902). Elsevier.

Holz, M.; França, A.B.; Souza, P.A.; Ianuzzi, R.; Rohn, R. (2010). 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*, Vol. 29, edição 2: 381-399.

Holz, M.; KÜchle, J.; Philipp, R.P.; Bischoff, A.P; Arima, N. (2006). Hierarchy of tectonic control on stratigraphic signatures: Base-level changes during the Early Permian in the Paraná Basin, southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 22, edições 3–4: 185-204.

Jones, T. P., & Chaloner, W. G. (1991). Fossil charcoal, its recognition and palaeoatmospheric significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 97(1-2), 39-50.

Lefeld, J. (1971). Geology of the Djadokhta Formation at Bayn Dzak (Mongolia). *Palaeontologia Polonica*, 25, 101-127.

Lima, P. L., Scherer, C. M., Manna, M. O., Toledo, J. C., Bállico, M. B., dos Reis, A. D., & Ferrari, L. A. B. (2024). Medial and Distal Portions of Distributive Fluvial System: Case study of the Rio do Rasto Formation (Paraná Basin, south Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 105293.

Liu, J., Rubidge, B., & Li, J. (2010). A new specimen of *Biseridens qilianicus* indicates its phylogenetic position as the most basal anomodont. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1679), 285-292.

Lovelace, D. M. (2006). An upper Jurassic Morrison Formation fire-induced debris flow: taphonomy and paleoenvironment of a sauropod (sauropoda: *Supersaurus vivianae*) locality, east-central Wyoming. *Paleontology and Geology of the Upper Jurassic Morrison Formation: Bulletin 36*, 36, 47.

Manfroi, J.; Uhl, D.; Guerra-Sommer, M.; Francischini, H.; Martinelli, A.G.; Soares, M.B.; Jasper, A. (2015). Extending the database of Permian palaeo-wildfire on Gondwana: Charcoal remains from the Rio do Rasto Formation (Paraná Basin), Middle Permian, Rio Grande do Sul State, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 436: 77-84.

Maranhão, M. D. S. A. (1995). *Fósseis das formações Corumbataí e Estrada Nova do Estado de São Paulo: subsídios ao conhecimento paleontológico e bioestratigráfico* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Martinelli, A.G.; Francischini, H; Dentzien-Dias, P.C.; Soares, M.B.; Schultz, C.L. (2017). The oldest archosauromorph from South America: postcranial

remains from the Guadalupian (mid-Permian) Rio do Rasto Formation (Paraná basin), southern Brazil. *Historical Biology*, vol. 29.1: 76-84.

Miall, A D. (1996). The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. p. 582.

Milani, E. J. (1997). Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 2 v. il. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, 1997a.

Modesto, S., & Rubidge, B. (2000). A basal anomodont therapsid from the lower Beaufort Group, Upper Permian of South Africa. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 20(3), 515-521.

Modesto, S.; Rubidge, B.; Welman, J. (1999). The most basal anomodont therapsid and the primacy of Gondwana in the evolution of the anomodonts. *Proceedings of the Royal Society of London. Série B: Biological Sciences* 266: 331-337.

Pacheco, C. P., Eltink, E., Müller, R. T., & Dias-da-Silva, S. (2017). A new Permian temnospondyl with Russian affinities from South America, the new family Konzukoviidae, and the phylogenetic status of Archegosauroidae. *Journal of Systematic Palaeontology*, 15(3), 241-256.

Pauliv, V.E.; Martinelli, A.G.; Francischini, H.; Dentzien-Dias, P.; Soares, M.B.; Schultz, C.L.; Ribeiro, A.M. (2017). The first Western Gondwanan species of *Triodus* Jordan 1849: A new Xenacanthiformes (Chondrichthyes) from the late Paleozoic of Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 80: 482-493.

Richter, M. (1983). Variação Morfológica de Restos de Paleoniscídeos (Pisces) no Permiano da Bacia do Paraná. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA. Brasília. N° 27. p. 111-122.

Rohn, R.; Assine, M.L.; Meghioratti, T. (2005). A New Insight on the Late Permian Environmental Changes in the Paraná Basin, South Brazil. In: Gondwana 12 Conference. Abstracts. *Academia Nacional de Ciencias, Córdoba*: 316.

Rubidge, B. S., & Day, M. O. (2020). Biostratigraphy of the Eodicynodon Assemblage Zone (Beaufort Group, Karoo Supergroup), South Africa. *South African Journal of Geology* 2020, 123(2), 141-148.

Rubidge, B. S., Day, M. O., & Benoit, J. (2023). First record of the rare dicynodont *Colobodectes* from the southern Karoo Basin of South Africa has implications for middle permian continental biostratigraphy. *Journal of African Earth Sciences*, 208, 105097.

Santos, M.G.; Santiago, A.C.P.; Sylvestre, L.S. (2023). Sinopse das famílias e gêneros de samambaias e licófitas do Brasil. *Samambaias e licófitas do Brasil biologia e taxonomia*, 1, 188-361.

Scherer, C.M.S; Reis, A.D.; Horn, B.L.D.; Bertolini, G.; Lavina, E.L.C.; Kifumbi, C.; Aguilar, C.G. (2023). The stratigraphic puzzle of the permomesozoic southwestern Gondwana: The Paraná Basin record in geotectonic and palaeoclimatic context. *Earth-Science Reviews*: 104397.

Schneider, R.L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F. & Nogueira, A.A. (1974). Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, SBG, vol 1: p. 41-66.

Simões, M. S., Meloni, R. E., Benevides Filho, P. R. R., Lisboa, T. M., & Silva, A. R. C. (2017). A sucessão vulcanossedimentar dos grupos Colíder e Beneficente no sudeste do Amazonas: estilos eruptivos, tipos composicionais e ambientes de sedimentação. *Contribuições a Geologia da Amazônia*, 10, 253-272.

Smith, R.M.H.; Rubidge, B.S.; Day, M.O.; Botha, J. (2020). Introduction to the tetrapod biozonation of the Karoo Supergroup. *South African Journal of Geology*; 123 (2): 131–140.

Sire, J. Y., Donoghue, P. C., & Vickaryous, M. K. (2009). Origin and evolution of the integumentary skeleton in non-tetrapod vertebrates. *Journal of anatomy*, 214(4), 409-440.

Walker, R. G. (1992). Facies model: response to sea level change. *Geol. Asso. Canada*, 409.

Würdig-Maciel, N. L. (1975). Ichtiodontes e Ichtiodorulitos (Pisces) da Formação Estrada Nova e Sua Aplicação na Estratigrafia do Grupo Passa Dois. *Pesquisas em Geociências*, 5(5), 7-166.