

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
MESTRADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

JOSEANE SALAU FERRAZ

**SÍTIO PALEONTOLÓGICO CERRO CHATO: UMA EXCEPCIONAL
ASSEMBLEIA FÓSSIL PARA O PERMIANO BRASILEIRO**

São Gabriel – RS

2022

JOSEANE SALAU FERRAZ

**SÍTIO PALEONTOLÓGICO CERRO CHATO: UMA EXCEPCIONAL
ASSEMBLEIA FÓSSIL PARA O PERMIANO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências Biológicas.

Orientador: Dr. Felipe Lima Pinheiro

Coorientadora: Dra. Joseline Manfroi

São Gabriel – RS

2022

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

F8381s Ferraz, Joseane Salau

Sítio paleontológico Cerro Chato: Uma excepcional assembleia fóssil
para o Permiano brasileiro / Joseane Salau Ferraz.

64 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Pampa, MESTRADO
EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, 2022.

"Orientação: Felipe Lima Pinheiro".

1. Formação Rio do Rasto. 2. Flora Glossopteris. 3. Gondwana. 4.
Paleoflora. I. Título.

JOSEANE SALAU FERRAZ

**SÍTIO PALEONTOLÓGICO CERRO CHATO: UMA EXCEPCIONAL ASSEMBLEIA FÓSSIL
PARA O PERMIANO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências Biológicas.

Dissertação defendida e aprovada em: 24, novembro de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Felipe Lima Pinheiro
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. André Jasper
UNIVATES

Prof. Dr. Jair Putzke



Assinado eletronicamente por **FELIPE LIMA PINHEIRO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/12/2022, às 09:47, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Andre Jasper, Usuário Externo**, em 01/12/2022, às 10:10, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JAIR PUTZKE, Coordenador(a) de Curso Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas**, em 01/12/2022, às 11:28, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0999247** e o código CRC **7A1CB5F0**.

À minha irmã Shayane, dedico esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro.

À minha mãe, Nair, e ao meu pai, José, por apoiarem meus sonhos, por terem permitido conduzir experimentos científicos caseiros desde criança, por terem nutrido meu amor incondicional pela natureza, por desde a graduação terem me ajudado em coletas e na elaboração de coleções biológicas e de minerais, por entenderem minha paixão pela paleontologia, por comemorarem cada pequena conquista minha e embarcarem nesse amor junto comigo. Sem vocês eu não teria conseguido.

À minha irmã, Shayane por ser uma fonte inesgotável de carinho e por sempre ter segurado minha mão nos momentos de cansaço e lágrimas.

Agradeço aos meus anjos de quatro patas, Darwin e Jade, os melhores gatos do mundo, pela companhia em dias felizes e tristes, pelos seus ronronares durante as aulas remotas, leituras e por terem aquecido meus pés e o meu coração.

Aos meus queridos orientadores Dr. Felipe Lima Pinheiro e Dr^a. Joseline Manfroi pelo suporte, por terem me apresentado a paleobotânica e terem feito eu me apaixonar por essa área, por terem me feito acreditar que era possível, pelos momentos que partilhamos em campo, em laboratório e na construção desse trabalho. Vocês são os responsáveis por esta jornada. Todo meu carinho a vocês.

Aos meus colegas e amigos de laboratório Shayane Protti, Karine Pohlmann, Mateus Santos, João Lucas, Jaqueline Figueiredo, Ana Paula Eich, Carol Paz, Carol Burgardt, Carol Paixão, Thiago Rodrigues, Caroline Pilar, Arielli Machado e Voltaire Paes Neto, pelas prospecções de campo, pelas discussões dos resultados e por todos os momentos que compartilhamos.

Ao meu amigo incondicional, Me. Dalvan Carlos Beise pela amizade, pelos conselhos, pela ajuda com nomenclaturas botânicas e todos os momentos que partilhamos. *You're my person.*

Ao Prof. Dr. José Inácio Ricardo Ribeiro (Zeca), por todos os ensinamentos, por me aguentar falando sobre coprólitos, dinossauros e plantas, pela companhia nos cafés e por todos esses anos de amizade.

Aos meus queridos professores e professoras que foram e são fundamentais na minha trajetória.

Agradeço aos queridos amigos que fiz nos arredores da UNIPAMPA ao longo desses anos, em especial, Aline Rocha, Juliano Boldo, Teodoro Boldo, Marícia Fantinel, Tainara Menna Barreto, Guilherme Franco, Sabrina Ferreira, Isabele Machado, Vitor da Silva, Tiago Gomes e Márcia Spies.

Ao laboratório de Paleobiologia, ao LEBIP e à UNIPAMPA por terem se tornado o meu segundo lar.

À prefeitura de Dom Pedrito e a família Goulart pelo auxílio durante as atividades no afloramento Cerro Chato, pela gentileza e acolhimento.

A Magali Pohlmann, Karine Pohlmann e Carlos Reinaldo Dias Galarza por terem me recebido em sua residência, pelo carinho, almoços e jantares e coração bondoso. Vocês são incríveis.

À grande amiga paleobotânica, Ândrea Pozzebon pelo auxílio na análise das amostras durante minha estadia na UNIVATES.

Ao seu Adilson, operador de retroescavadeira da Prefeitura de Dom Pedrito que nos auxiliou na abertura dos níveis fossilíferos e que com sua delicadeza com a manipulação da máquina, paciência e olhar atento foi fundamental para o resgate dos fitofósseis.

Ao Prof. Dr. André Jasper e aos amigos da equipe do Laboratório de Paleobotânica e Evolução de Biomas (UNIVATES) pela acolhida, apoio e suporte na análise dos materiais estudados durante este trabalho.

Por fim, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, pela oportunidade em fomentar a continuidade da minha formação.

RESUMO

O sítio fossilífero Cerro Chato (Bacia do Paraná), município de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul, Brasil, revela uma assembleia fossilífera bastante diversificada, que inclui esfenófitas, licópsidas, pteridófitas, pteridospermas e gimnospermas, além de escamas de peixes e conchas de moluscos. Essa assembleia, que revela uma associação entre grupos vegetais e animais bem preservados, é única para os depósitos da Formação Rio do Rasto. O afloramento Cerro Chato, descoberto na década de 1950 e com sua localização desconhecida desde então, é reconhecido como um sítio paleontológico único para o estudo de floras do período Permiano. O georreferenciamento falho e o desuso de estradas vicinais, que acarretaram no longo desconhecimento da localização precisa do sítio, impossibilitaram o desenvolvimento de estudos acerca de seus fósseis para além de pesquisas preliminares sobre materiais coletados em meados do século passado. A redescoberta do sítio, em 2019, abriu oportunidades únicas para a retomada de pesquisas científicas sobre a assembleia fóssil preservada no afloramento. Prospecções a campo exploratórias, realizadas nos últimos anos, revelaram uma produtividade paleontológica que supera as expectativas, demonstrando que o sítio preserva uma associação rara de elementos pertencentes à Flora *Glossopteris*, com espécimes que se destacam por sua abundância e excelente preservação. Esta dissertação teve por objetivo investigar a paleontologia do afloramento Cerro Chato, realizando escavações estratigraficamente controladas nesta localidade, bem como apresentando a ocorrência de um novo grupo fitofóssil, até então inédito para a Formação Rio do Rasto no estado Rio Grande do Sul. A abundância e qualidade dos espécimes já resgatados fazem do sítio um potencial *Lagerstätte*. As investigações aqui apresentadas, além de representarem um estudo expressivo, servirão de base para pesquisas futuras acerca das paleofloras permianas do Gondwana, preenchendo lacunas que ainda persistem sobre a biodiversidade desse importante intervalo da história da Terra.

Palavras-Chave: Formação Rio do Rasto, Flora *Glossopteris*, Gondwana, Paleoflora.

ABSTRACT

The Cerro Chato outcrop (Paraná Basin), Dom Pedrito municipality, Rio Grande do Sul State, Brazil, reveals a diverse fossil assemblage that includes sphenophytes, lycopsids, pteridosperms and gymnosperms, in addition to fish scales and molluscs. Because it reveals an association between well-preserved plant and animal specimens, this assemblage is unique among Rio do Rasto Formation deposits. The Cerro Chato outcrop, discovered in the 1950s and its location unknown since then, is recognized as a unique paleontological site for the study of flora from the Permian period. The flawed georeferencing, together with the disuse of dirt roads, led to a long lack of knowledge of the precise location of the site, making it impossible to develop studies on its fossil content beyond the preliminary research on specimens collected in the middle of the last century. The rediscovery of the site, in 2019, reopened unique opportunities for the resumption of scientific research on the fossil assemblage preserved in the site. Exploratory field surveys carried out in recent years have revealed a paleontological productivity that exceeds expectations, demonstrating a rare association of elements belonging to the *Glossopteris* Flora, with specimens that stand out for their abundance and excellent preservation. This work aims to investigate the paleontology of the Cerro Chato outcrop, conducting stratigraphically controlled excavations and presenting the occurrence of a new phytofossil taxon, thus far not recorded in Rio do Rasto Formation deposits from Rio Grande do Sul state. The abundance and quality of the specimens already recovered make the site a potential *Lagerstätte*. The research developed here, in addition to representing an expressive study, will serve as a basis for future research on the Permian paleoflora of Gondwana, filling gaps that still persist in the biodiversity of this important interval in Earth's history.

Keywords: Rio do Rasto Formation, *Glossopteris* Flora, Gondwana, Paleoflora.

Organização e apresentação da Dissertação

A organização dessa Dissertação é baseada no “Manual para elaboração e normalização de trabalhos acadêmicos conforme normas da ABNT”, que estabelece o padrão de apresentação de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Pampa.

A dissertação inicia com uma Introdução geral, onde são apresentados os referenciais teóricos necessários para compreensão do tema, da localidade onde o estudo foi realizado e da paleoflora recuperada para a referida localidade durante o desenvolvimento desta pesquisa. Nesta seção é apresentada uma breve revisão da literatura acerca do tema geral abordado no trabalho, uma vez que informações mais específicas são apresentadas na introdução dos dois manuscritos frutos deste trabalho.

A descrição dos “Materiais e métodos” dessa dissertação está inclusa nos manuscritos. Foi aplicado este modelo a fim de evitar que a leitura da dissertação se torne repetitiva. Na seção “Resultados” são apresentados os dois manuscritos gerados a partir da investigação do afloramento e da paleoflora resgatada.

O primeiro manuscrito (Ferraz et al., 2021) foi publicado na revista Paleontologia em Destaque da Sociedade Brasileira de Paleontologia. Neste manuscrito é apresentado o contexto histórico e geológico do sítio fossilífero Cerro Chato, novos níveis fossilíferos, bem como é relatado o resgate de macrofósseis em excelente estado de preservação. Já o segundo manuscrito, submetido na Journal of South American Earth Sciences, apresenta o primeiro registro de *Pecopteris* sp. para a Formação Rio do Rasto nos depósitos do Rio Grande do Sul. Ambos os manuscritos encontram-se formatados dentro das normas das respectivas revistas científicas.

Por fim, a dissertação conta com as seções “Discussão” e “Considerações finais” que, de forma mais abrangente, reúnem os resultados obtidos a partir de cada manuscrito e as considerações acerca da investigação da geologia do afloramento e da paleoflora recuperada e estudada durante os anos de 2020 a 2022.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo geral	15
2.2. Objetivos específicos	15
3. RESULTADOS	16
3.1. Manuscrito I	16
3.2. Manuscrito II	43
4. DISCUSSÃO	60
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
6. REFERÊNCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

A Flora *Glossopteris* reúne elementos vegetais que compartilham semelhanças morfológicas, ocorrendo em depósitos sedimentares de idade Permiana (298.9 – 251.902 Ma) na América do Sul, África, Austrália, Antártica, Nova Zelândia e Índia. Ao fim da Era Paleozóica, todos esses continentes compunham uma grande massa de terra no Hemisfério Sul, o Gondwana. Por sua vez, a Laurásia reunia as porções de terra do Hemisfério Norte (BOLZON, 1995).

As plantas que proliferaram no Gondwana enfrentavam barreiras geográficas menores, o que favorecia a ocorrência de grupos semelhantes a longas distâncias. Esse fato sustenta as relações de afinidade taxonômica de fósseis encontrados em continentes hoje distantes e ecologicamente díspares. As evidências fornecidas pela presença da Flora *Glossopteris* foram fundamentais para o estabelecimento da teoria da Deriva Continental, proposta por Alfred Wegener, no início do século XX (GUERRA-SOMMER, 1995).

Os elementos vegetais pertencentes à Flora *Glossopteris* incluem uma grande diversidade de plantas vasculares sem sementes, como as samambaias (Rohn et al., 2021) e plantas vasculares com sementes, como as glossopterídeas (Guerra-Sommer et al., 2021). Dentre as gimnospermas, estão presentes as coníferas, ginkgoales, licópsidas, dentre outras (Cúneo, 1996; Spiekermann et al., 2021). Na América do Sul, a Bacia do Paraná revela grande diversidade de elementos pertencentes à Flora *Glossopteris* (Rohn & Rosler, 1989; Tybusch, 2005). No entanto, os vegetais fósseis recuperados nos estratos de idade permiana da Bacia do Paraná carecem de estudos mais aprofundados sobre sua paleobiologia, paleoecologia e paleobiogeografia (DOHMS, 1977; ROHN & ROSLER, 1989).

No estado do Rio Grande do Sul, os depósitos sedimentares da Bacia do Paraná aportam importantes registros de fitofósseis que compuseram a “Flora *Glossopteris*”, destacando-se pela presença de *Gangamopteris*, *Rubidgea* e, claro, *Glossopteris*. Destaca-se, também, o registro fóssil de grupos que ainda hoje possuem descendentes, tais como as licófitas, esfenófitas e samambaias (GUERRA-SOMMER & CAZZULO-KLEPZIG, 2000).

Significativas mudanças na composição florística e o desaparecimento de muitos elementos pertencentes à Flora *Glossopteris* ocorreram ao fim do paleozóico. O último período dessa Era, o período Permiano, é encerrado por uma grande extinção em massa (ocorrida há cerca de 252 milhões de anos), marcando o desaparecimento de até 90% das espécies então viventes (BENTON & HARPER, 1997).

Neste contexto, o sítio fossilífero Cerro Chato, pertencente à Formação Rio do Rasto - Bacia do Paraná (Ferraz et al., 2021), localizado na porção sudoeste do Rio Grande do Sul, vem

revelando uma singular concentração de elementos pertencentes a Flora *Glossopteris*. O afloramento Cerro Chato é conhecido na literatura desde 1951, quando foi descrito pelos pesquisadores Emmanoel A. Martins e Mariano Sena-Sobrinho. Na época, devido às poucas prospecções ao afloramento, somado aos limitados instrumentos de georeferenciamento e ao desuso de estradas vicinais que eram utilizadas como ponto de referência para o acesso ao sítio fossilífero, sua localização permaneceu desconhecida por décadas (FERRAZ et al., 2021).

Com a retomada da possibilidade de prospecções ao afloramento, a partir do ano de 2019, intensas coletas vêm sendo realizadas pelo Laboratório de Paleobiologia da Universidade Federal do Pampa, e o afloramento é objeto de investigação da presente dissertação de mestrado.

Neste trabalho são realizadas investigações detalhadas acerca da geologia e paleontologia do sítio fossilífero Cerro Chato, bem como a descrição do espécime vegetal PBCC 001. Nossos estudos reinauguram as pesquisas sobre fósseis coletados no sítio setenta e um anos após o anúncio de sua descoberta, publicada nos Anais da Academia Brasileira de Ciências por Martins e Sena-Sobrinho (1951).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Reintroduzir o afloramento Cerro Chato no âmbito paleontológico e apresentar elementos pertencentes à Flora *Glossopteris* preservada em diferentes níveis deposicionais do afloramento, visando contribuir com informações sobre a composição florística e distribuição geográfica dos grupos para o Permiano superior, na América do Sul.

2.2. Objetivos específicos

- Descrever e analisar o contexto geológico no qual o afloramento Cerro Chato está inserido;
- Ampliar os dados referentes a paleobiota preservada no sítio fossilífero;
- Definir a ocorrência de grupos vegetais pertencentes à Flora *Glossopteris* no afloramento Cerro Chato.

3. RESULTADOS

3.1. Manuscrito I

(Manuscrito publicado na revista Paleontologia em Destaque da Sociedade Brasileira de Paleontologia, em 2022). doi: 10.4072/paleodest.2021.36.75.04

Recebido em: 22/11/2021

Aceito em: 02/02/2022



Paleodest

Paleontologia em Destaque, v. 36, n. 75, p. 62-72, 2021

e-ISSN 1807-2550 – Sociedade Brasileira de Paleontologia

REDESCOBERTA DO AFLORAMENTO CERRO CHATO, UM IMPORTANTE SÍTIO FOSSILÍFERO PARA O PERMIANO DA BACIA DO PARANÁ

JOSEANE SALAU FERRAZ¹

KARINE POHLMANN BULSING²

JOSELINE MANFROP^{3,4}

MARGOT GUERRA-SOMMER⁵

ANDRÉ JASPER⁶

FELIPE L. PINHEIRO^{1*}

¹Laboratório de Paleobiologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brasil.

²Laboratório de Paleobiologia da Antártica e Patagônia, Instituto Antártico Chileno (INACH), Punta Arenas, Chile.

³Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁴Laboratório de Paleobotânica e Evolução de Biomas, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁵joscanefferraz98@gmail.com; ⁶felipepinheiro@unipampa.edu.br; karine-pohlmann@hotmail.com; joselinemanfroi@universo.univates.br; margot.sommer@ufrgs.br; ajasper@univates.br

Autor correspondente: felipepinheiro@unipampa.edu.br

doi: 10.4072/paleodest.2021.36.75.04

Recebido em: 22/11/2021

Aceito em: 02/02/2022



Ferraz et al., 2021. *Paleontologia em Destaque*, v. 36, n. 75, p. 69. Figura 5B.



**REDESCOBERTA DO AFLORAMENTO CERRO CHATO, UM
IMPORTANTE SÍTIO FOSSILÍFERO PARA O PERMIANO DA BACIA
DO PARANÁ**

JOSEANE SALAU FERRAZ

Laboratório de Paleobiologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa
- UNIPAMPA, Campus São Gabriel, Caixa Postal: 02, CEP: 97.300-970, São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brasil.

joseanferraz98@gmail.com

KARINE POHLMANN BULSING

Laboratório de Paleobiologia, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA,
Campus São Gabriel, Caixa Postal: 02, CEP: 97.300-970, São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brasil. *karine-*

pohlmann@hotmail.com

JOSELINE MANFROI

Laboratório de Paleobiologia da Antártica e Patagônia, Instituto Antártico Chileno - INACH, Punta Arenas, Chile,
Plaza Muñoz Gamero, 1055 & Laboratório de Paleobotânica e Evolução de Biomas, Universidade do Vale do
Taquari - UNIVATES, Av. Avelino Talini, nº 171, CEP: 95.914-014, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil.

joselinemanfroi@universo.univates.br

MARGOT GUERRA-SOMMER

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Avenida Bento Gonçalves, nº 9500,
CEP: 91509-900, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. *margot.sommer@ufrgs.br*

ANDRÉ JASPER

Laboratório de Paleobotânica e Evolução de Biomas, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e
Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Avenida Avelino Talini nº 171, CEP: 95.914-

014, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil. *ajasper@univates.br*

FELIPE L. PINHEIRO

Laboratório de Paleobiologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa
- UNIPAMPA, Campus São Gabriel, Caixa Postal: 02, CEP: 97.300-970, São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brasil.

felipepinheiro@unipampa.edu.br

ABSTRACT – THE REDISCOVERY OF THE CERRO CHATO OUTCROP, AN IMPORTANT PERMIAN FOSSIL SITE OF THE PARANÁ BASIN. The Cerro Chato outcrop, Dom Pedrito municipality, Rio Grande do Sul (Brazil), represents an important fossil site for the understanding of the environmental changes that occurred throughout the end of the Paleozoic, culminating in the largest extinction event recorded thus far. The sedimentary beds of the Cerro Chato outcrop yield a unique fossil content, documenting a rich association of plants and fish remains. The taphoflora preserved in the outcrop documents an important evolutionary stage of the flora that inhabited lacustrine and lagoon environments during the continentalization of Paraná Basin depositional systems. Here we address the rediscovery of this important fossil site, whose geographic location was unknown for decades, preventing scientific research and the duly preservation of the outcrop. In this sense, the Cerro Chato outcrop is re-introduced to the scientific community and general public through revealing its precise location, its geological context and the discovery of completely new fossiliferous levels. Our work contributes to the expansion of paleontological data recorded for this location and the furtherance of the preservation of this important Brazilian paleontological site.

Keywords: Permian, Gondwana, Rio do Rasto Formation, Taphoflora.

RESUMO – O afloramento Cerro Chato, município de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul, é um importante sítio fossilífero para a compressão das mudanças ambientais que ocorreram ao longo do passado geológico, em particular durante a maturidade do período Permiano, culminando na

maior extinção em massa já registrada. Os níveis deposicionais do afloramento Cerro Chato resguardam um conteúdo fossilífero ímpar, documentando uma associação abundante de fósseis de origem vegetal e animal. A tafoflora preservada em seus depósitos, caracteriza um importante estágio evolutivo da flora que habitava ambientes associados a corpos lacustres e lagunares, que se desenvolveram durante a continentalização dos sistemas deposicionais da Bacia do Paraná. O presente trabalho aborda a redescoberta deste importante sítio fossilífero, que permaneceu com sua localização geográfica desconhecida por décadas, impossibilitando estudos e a devida proteção do afloramento. Neste sentido, o afloramento Cerro Chato é reapresentado à comunidade científica (como também, ao público geral), a partir da apresentação de sua localização e contexto geológico, além da descoberta de níveis fossilíferos inéditos. Deste modo, contribuímos com a ampliação dos dados paleontológicos registrados para esta localidade e para preservação deste importante sítio fossilífero brasileiro.

Palavras-chave: Permiano, Gondwana, Formação Rio do Rasto, Tafoflora.

INTRODUÇÃO

Historicamente, depósitos fossilíferos localizados no estado do Rio Grande do Sul se destacam pela abundância e diversidade de organismos que habitaram a região ao longo do tempo geológico, especialmente no que diz respeito a depósitos fossilíferos de idade Permo-Triássica. Na região central do estado, onde se localiza o município de Santa Maria, é registrada uma das mais importantes concentrações de vertebrados fósseis triássicos do mundo (Schultz et al. 2020). Já alguns municípios vizinhos, tais como Mata e São Pedro do Sul, são conhecidos por revelar lenhos fossilizados, muitos de grande porte, eventualmente encontrados em posição de crescimento (Minello, 1995), sendo que em Mata é considerado um dos mais importantes sítios paleobotânicos da América do Sul (Guerra-Sommer & Scherer, 2000).

Em nível global, a extinção que encerra o período Permiano (~298 Ma - 254 Ma) marca o desaparecimento de mais de 90% das espécies viventes (Benton & Harper, 1997), sendo reconhecida como a maior extinção em massa do registro geológico. Os eventos que resultaram nessa extinção ainda seguem em debate, porém, as hipóteses melhor sustentadas incluem mudanças ambientais, climáticas e paleogeográficas, episódios de anoxia nos oceanos, aquecimento global, vulcanismo e possíveis impactos extraterrestres. Uma provável combinação de vários destes fatores atingiu severamente os ambientes marinhos e terrestres (Yin et al. 2007).

Dado que os processos que desencadearam essa importante extinção, bem como a resposta das biotas ao evento, ainda não são inteiramente compreendidos, os estudos em regiões onde afloram rochas do período Permiano são uma promissora oportunidade para o resgate de dados sobre este intervalo particular da história da vida na terra, bem como para a compreensão da biologia dos organismos que foram dizimados ou que sobreviveram à

extinção. Neste contexto, depósitos fossilíferos de preservação excepcional e grande representatividade biótica são particularmente interessantes.

O sítio fossilífero Cerro Chato, localizado na região Sul do Brasil (Bacia do Paraná), foi nomeado e descrito em 1951 pelos pesquisadores Emmanoel A. Martins e Mariano Sena-Sobrinho, revelando, já naquele momento, uma concentração excepcional de registros paleobotânicos do período Permiano. Apesar de seu conteúdo fossilífero ímpar, informações sobre sua localização foram perdidas na década de 1970, o que se atribui às limitadas referências geográficas de então e ao desuso de estradas vicinais que possibilitavam o acesso à localidade. Ao curso das décadas que se seguiram, inúmeras tentativas infrutíferas foram realizadas com o objetivo de localizar o afloramento, que permaneceu oculto por cerca de 50 anos. Ainda assim, espécimes coletados durante as primeiras prospecções possibilitaram investigações parciais da assembléia fóssil preservada no afloramento, resultando na publicação de trabalhos científicos (Herbst, 1986; Guerra-Sommer et al. 1995; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000).

O sítio paleontológico Cerro Chato foi finalmente localizado no ano de 2019 e, desde então, intensas prospecções foram realizadas por nossa equipe, retomando a possibilidade do desenvolvimento de novas pesquisas científicas na localidade (Figura 01). Nesta contribuição, apresentamos uma reintrodução do afloramento Cerro Chato no âmbito paleontológico, revelando sua localização, descrevendo seu contexto geológico, relatando a descoberta de novos níveis fossilíferos e ampliando os dados já registrados sobre a paleobiota da localidade. Manifestamos, aqui, a importância da preservação e reconhecimento deste importante sítio fossilífero, igualmente relevante para a esfera científica e para a comunidade regional. Optamos por apresentar a redescoberta do afloramento Cerro Chato em língua portuguesa, ampliando o alcance das informações aqui apresentadas em território brasileiro.

CONTEXTO GEOLÓGICO E PALEONTOLÓGICO

O município de Dom Pedrito está localizado na porção sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, possuindo uma extensão territorial de 5.192 km² (IBGE, 2020). Dispõe, como limites geopolíticos: ao norte, os municípios de Rosário do Sul e Lavras do Sul; ao sul, a República do Uruguai e município de Bagé; a leste, os municípios de Lavras do Sul e Bagé e, a oeste, o município de Santana do Livramento.

Dom Pedrito está situado na bacia intracratônica do Paraná, importante unidade sedimentar com cerca de 1.500.000 km² de área, a maior parte dela situada em território brasileiro (Milani et al. 2007). O preenchimento sedimentar da Bacia do Paraná é dividido em seis supersequências deposicionais, sendo que o afloramento Cerro Chato remete à Supersequência Gondwana I, compreendendo unidades depositadas entre o período Carbonífero e o Eotriássico (Milani et al. 2007).

São reconhecidas, para o território do Rio Grande do Sul, cinco unidades geomorfológicas: Planalto Uruguaio Sul-Rio-Grandense, Planalto Meridional, Cuesta de Haedo, Planície Costeira e Depressão Periférica (Müller Filho, 1970). A Depressão Periférica, onde se situa a área de estudo, está justaposta entre o Planalto Uruguaio Sul-Rio-Grandense e o Planalto Meridional, possuindo forma de arco e terrenos com colinas côncavo-convexas ou de topo plano, além de relevos tabulares variando entre 100 e 200 m de altitude (Suertegaray, 1996). Esta unidade geomorfológica teve sua gênese relacionada ao processo de circundesnudação, ocasionando a formação de patamares de erosão deprimidos e periféricos, que se localizam nas bordas da Bacia do Paraná (Ab'Saber, 1949).

Neste sentido, de acordo com Sena-Sobrinho (1959), é possível subdividir geologicamente o município de Dom Pedrito em três principais regiões (Figura 02). A região I é caracterizada por formações graníticas claras a rosáceas, com diques de pegmatito, xistos diversos e *gneiss* injetado de idade Pré-Cambriana. A região II possui a maior abrangência territorial, correspondendo aos depósitos sedimentares permianos, com arenitos finos avermelhados, amarelados e cinzentos do Grupo Itararé, além de folhelhos amarelados, folhelhos betuminosos e calcários fossilíferos, com registro de *Mesosaurus*, correspondentes à Formação Irati. Também estão preservados calcários claros e finos compactados com restos

vegetais, arenitos e folhelhos vermelhos e rosáceos da Formação Rio do Rasto. Por fim, a região III corresponde a depósitos triássicos, com rochas efusivas de diabásio e dacitos em diques (Martins & Sena-Sobrinho, 1951; Sena-Sobrinho, 1959).

O afloramento Cerro Chato está localizado, mais especificamente, em depósitos correspondentes à metade/final do período Permiano (Formação Rio do Rasto). Esta formação apresenta elevada complexidade faciológica, compreendendo tanto ambientes marinhos rasos quanto sistemas deposicionais que testemunham uma transição entre depósitos de planície costeira até uma característica sedimentação flúvio-deltaica (Aboarrage & Lopes, 1986).

O afloramento Cerro Chato está localizado a noroeste da cidade de Dom Pedrito, coordenadas geográficas 30° 53'16" S 54° 54' 50" O, e se situa sobre uma meseta de aproximadamente 190 metros de altitude. Seu conjunto litológico se resume, basicamente, em duas fácies distintas. A fácies superior se caracteriza por deposição plano-paralela de calcário cinza claro, com conteúdo fossilífero em seu topo, possuindo aproximadamente 80 centímetros de espessura. Esta camada está sobreposta e sotoposta à segunda fácies litológica, correspondendo à deposição lenticular de folhelho síltico em tons avermelhados, arroxeados e esverdeados (Figura 03).

Ambas as fácies preservam conteúdo fossilífero. Ainda assim, o nível fossilífero descrito por Martins & Sena-Sobrinho (1951) corresponde apenas aos depósitos de calcário aflorantes em meio à vegetação rasteira. Este nível apresenta importantes registros paleobotânicos, sendo a origem do holótipo da licófita *Cyclodendron dolianiti* (Herbst, 1986), também com a presença de *Glossopteris* sp. e *Lycopodiopsis derbyi* (Martins & Sena-Sobrinho, 1951), dentre outros registros paleobotânicos (Beurlen et al. 1955; Sommer & Trindade, 1966). As novas prospecções aqui relatadas resgataram fitofósseis inéditos para este nível deposicional, assim como elementos faunísticos sem precedentes no afloramento.

A fácies correspondente aos depósitos de folhelhos revelou uma rica e abundante tafoflora, preservada ao longo de uma surpreendente amplitude de níveis deposicionais. Fósseis recuperados nesta fácies comumente apresentam excelente estado de preservação, sendo comuns os fragmentos de vertebrados, por ora representados por escamas e ossos fragmentários de peixes (Figura 03).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas quatro expedições ao afloramento Cerro Chato após sua localização geográfica ter sido novamente revelada. A primeira delas foi realizada, no ano de 2019, por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, indicada pelo Ministério Público do estado do Rio Grande do Sul a pedido dos atuais proprietários da área, com o intuito de reconhecimento e determinação da preservação do sítio, tanto para o desenvolvimento de pesquisas científicas quanto para o resguardo do patrimônio fossilífero associado. Posteriormente, nos anos de 2020 e 2021, pesquisadores da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, em colaboração com pesquisadores da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, realizaram três expedições com o objetivo de avaliar o contexto geológico e coletar material paleontológico.

Durante as atividades de campo, além do uso das ferramentas corriqueiras para prospecção de macrofósseis, utilizou-se também uma retroescavadeira Randon, cedida pela Prefeitura Municipal de Dom Pedrito, e uma serra STIHL modelo TS 420, equipamento pertencente ao Laboratório de Paleobiologia da UNIPAMPA. Com o uso da retroescavadeira, foi aberta uma trincheira com profundidade de 1,80 m, que serviu para a avaliação do perfil geológico do afloramento e acesso a variados níveis fossilíferos. O uso da serra STIHL TS 420 permitiu o escalonamento dos níveis deposicionais, através de cortes em quadrantes, com o objetivo de viabilizar e otimizar as coletas dos fósseis melhor preservados (Figura 04).

Neste sentido, além da coleta de material fossilífero no nível superficialmente aflorante, também foi possível a identificação de novos níveis fossilíferos, com o resgate de macrofósseis em excelente estado de preservação por todo o perfil geológico. As amostras coletadas foram devidamente tombadas e acondicionadas na coleção paleontológica do Laboratório de Paleobiologia da UNIPAMPA. Dentre os macrofósseis prospectados no afloramento Cerro Chato, aqueles ainda obscurecidos por sedimento passaram por preparação mecânica mediante a utilização de marteletes pneumáticos Paleotools modelo MicroJack 1 e, posteriormente, foram fotografados com câmera Canon modelo EOS Rebel SL3 para melhor visualização e identificação das estruturas morfoanatômicas. A taxonomia e a paleoecologia destes espécimes serão objeto de estudo de trabalhos vindouros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O termo Rio do Rasto foi utilizado por White (1908) para caracterizar feições litológicas de cor avermelhada expostas no município de São Joaquim, Santa Catarina. Posteriormente, Gordon (1947) elevou tais sequências à categoria de formação (*i.e.* Formação Rio do Rasto). De idade guadalupiana (Francischini et al. 2018), a Formação Rio do Rasto possui contato transicional com a Formação Teresina, que lhe é precedente, apresentando também contato discordante com a Formação Botucatu, subjacente. A Formação Rio do Rasto é subdividida em dois membros, Serrinha e Morro Pelado, que apresentam contato concordante e gradacional (Gordon, 1947).

O Membro Serrinha é caracterizado por arenitos finos bem selecionados, intercalados por siltitos e argilitos com coloração esverdeada, amarronzada e avermelhada (aproximando-se do bordô). Apresenta, por vezes, lentes ou horizontes de calcário (Rosa Filho et al. 2011). A coloração progressivamente mais avermelhada do Membro Serrinha indica condições ambientais progressivamente mais oxidantes em direção ao topo desta unidade (Aboarrage &

Lopes, 1986). As camadas de arenito podem ser maciças ou apresentar laminação cruzada. Já as camadas de siltito e argilito demonstram laminação plano-paralela e exibem desagregação bastante desenvolvida (Gordon, 1947). O Membro Morro Pelado caracteriza-se por depósitos lenticulares de arenitos finos de coloração avermelhada, intercalados por siltitos e argilitos de coloração arroxeadada, variando também nas colorações amarela, branca e verde. Estruturas sedimentares incluem estratificação cruzada acanalada, laminação cruzada e plano-paralela, com camadas deposicionais tabulares ou sigmoidais (Gordon, 1947).

O sistema que originou os depósitos e feições geológicas da Formação Rio do Rasto é complexo, o que é demonstrado pela variação faciológica da unidade. Trata-se de um ambiente marinho raso (na base), que documenta uma marcada transição a depósitos de planície costeira, representada pelo Membro Serrinha, passando à sedimentação flúvio-deltaica, representada pelo Membro Morro Pelado. Esta acentuada progressão ambiental reflete um característico intervalo de aridização, bem documentado em depósitos permianos do sul do Brasil (Milani, 2007).

O conteúdo fossilífero da Formação Rio do Rasto testemunha essa evolução paleoambiental, através do registro de invertebrados (*e.g.* Reed, 1929; Carvalho, 1937; Ferreira-Oliveira, 2007), vertebrados (*e.g.* Barberena et al. 1985; Richter & Langer, 1998; Figueiredo et al. 2012; Boos et al. 2016; Pauliv et al. 2017), e icnofósseis (Dentzien-Dias et al. 2012). De grande relevância para a reconstrução de ambientes pretéritos, a Formação Rio do Rasto guarda um importante registro de fitofósseis, representados por vegetais com características predominantemente higrófilas e mesófilas (Rohn, 1988). Destaca-se a preservação de impressões de Pteridophyta: *Pecopteris* sp. (*e.g.* Klepzig, 1978; Rohn & Rösler, 1986), *Schizoneura* sp. (*e.g.* Cazzulo-Klepzig, 1978; Cazzulo-Klepzig & Correia, 1981), *Dichophyllites* sp. (Bortoluzzi, 1975; Rohn, 1988), *Paracalamite* sp. (Bortoluzzi, 1975; Rösler & Rohn, 1984), *Dizeugotheca* sp. (*e.g.* Cazzulo-Klepzig, 1978; Rohn & Rösler, 1986);

Sphenophyta: *Shenophylum* sp. (e.g. Rohn & Rösler, 1984; Iannuzzi, 2010); Lycopsida: *Cyclodendron* sp. (Herbst, 1986), *Lycopodiopsis* sp. (e.g. Martins & Sena-Sobrinho, 1951; Spiekermann et al. 2021) e Pteridospermatophyta, Glossopteridales: *Glossopteris* sp. (e.g. Mendes, 1954; Cazzulo-Klepzig, 1978; Rohn et al. 1984; Rohn, 1989; Iannuzzi, 2010).

Neste sentido, apesar de Martins e Sena-Sobrinho (1951) terem atribuído o afloramento Cerro Chato ao Subgrupo Estrada Nova, dados geológicos e paleontológicos recuperados durante as coletas recentes, tais como o registro de fronde completa de *Pecopteris* sp. (Ferraz et al. 2021), impressões foliares de *Glossopteris* sp., caules de *Paracalamites* sp. e um abundante testemunho de caules, bases caulinares e microfílos de *Lycopodiopsis* sp. associados a litologia descrita para o afloramento Cerro Chato (Figura 03), permitem a correspondência do preenchimento sedimentar do sítio à Formação Rio do Rasto.

Adicionalmente, a fácies correspondente aos depósitos de folhelhos sílticos revelou-se ainda mais promissora do que aquela descrita por Martins e Sena-Sobrinho (1951). Tais camadas demonstraram apresentar o registro de novos macrofósseis de licófitas, pteridófitas, e esfenófitas, assim como escamas de peixes (Figura 05). Neste nível, o registro fossilífero apresenta-se ao longo de toda a sequência deposicional, e surpreende pela detalhada preservação dos espécimes, associados provavelmente a um ambiente de baixa energia (Figura 06).

Apesar de distante por décadas do olhar científico, o afloramento Cerro Chato encontra-se em bom estado de preservação. Posteriormente à sua redescoberta, seguindo a determinação dos paleontólogos envolvidos na prospecção do material fossilífero, os proprietários da área realizaram o cercamento e sinalização do sítio, visando minimizar sua degradação. Desta forma, a comunhão de esforços oriundos da iniciativa privada, poder público e instituições de pesquisa é altamente eficaz no avanço do conhecimento científico. Ademais, tais esforços têm elevado impacto no desenvolvimento regional, estimulando o

turismo científico e a valorização do geopatrimônio, a exemplo de municípios gaúchos como Mata, São Pedro do Sul e São João do Polêsine (Guerra-Sommer & Scherer, 2000; Carvalho & Da Rosa, 2008). Neste sentido, ressalta-se a importância da popularização do conhecimento científico, com o objetivo de fomentar a proteção e preservação do sítio fossilífero Cerro Chato, assim como de outros afloramentos localizados no território brasileiro.

CONCLUSÃO

O afloramento Cerro Chato representa um importante sítio fossilífero para compreensão das mudanças ambientais que ocorreram durante o Permiano na Bacia do Paraná. O sítio resguarda um conteúdo fossilífero ímpar, documentando uma abundante associação de fósseis representativos da flora que habitava as adjacências de sistemas lacustres e lagunares no curso da continentalização dos sistemas deposicionais no Gondwana.

Aqui revelamos não apenas a localização geográfica do afloramento, informação por décadas obscura, como também exploramos seu contexto geológico e deposicional, o que possibilitou sua inserção na Formação Rio do Rasto. Novos esforços de coleta resultaram na recuperação de fósseis inéditos para a localidade (que serão abordados em trabalhos futuros), contribuindo para a taxonomia, paleoecologia e paleobiogeografia de diferentes grupos biológicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio e suporte fornecidos pela Prefeitura Municipal de Dom Pedrito e a família Goulart durante a realização dos trabalhos de campo. Agradecemos também ao Professor Dr. Rualdo Menegat pelo auxílio na localização e georreferenciamento da área de estudo, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (UNIPAMPA) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) Edital 07/2021 - Programa Pesquisador Gaúcho – PqG , pelo apoio à pesquisa. O presente trabalho foi

realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

Aboarrage, A.M. & Lopes, R.C. 1986. Projeto A Borda Leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica. Relatório final. v.18. DNPM/CPRM, Porto Alegre, Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Relatório final, volume 18).

Ab'Saber, A.N. 1949. Regiões de circundesnudação pós-cretácea no Planalto Brasileiro. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo. 1:3-21.

Barberena, C.; Araújo, C. & Lavina, L. 1985. Late Permian and Triassic tetrapods of southern Brazil. *National Geographic Research*, 1:5-20.

Benton, M.J. & Harper, D.A.T. 1997. *Basic Palaeontology*. 1ª ed. England, Addison Wesley Longman, Essex, 360 p.

Beurlen K.; Martins, E. & Sena-Sobrinho, M. 1955. Formações gondwânicas do Rio Grande do Sul. Boletim do Museu Nacional, nova série, Geologia, Rio de Janeiro, 22:1-57.

Boos, A.D.S.; Kammerer, C.F.; Schultz, C.L.; Soares, M.B. & Ilha, A.L.R. 2016. A New Dicynodont (Therapsida: Anomodontia) from the Permian of Southern Brazil and Its Implications for Bidentalians Origins. *PLoS ONE*. 11: 1-21.
doi:10.1371/journal.pone.0155000

Bortoluzzi, C.A. 1975. Étude de quelques empreintes de la flore gonwânienne du Brésil, Reims, France, *In: CONGRÉS NATIONAL SOCIÉTÉS SAVANTES*, 95, 1975, France, *Actes*, p.171-187.

Carvalho, P.F. 1937. Estado do Paraná. Departamento Nacional de Produção Mineral DNPM/SGM. Relatório Anual do Diretório, 1937: 49-62.

Carvalho, I.S. & Da Rosa, A.A.S. 2008. Paleontological tourism in Brazil: Examples and discussion. *Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro*, 66:271-283.

Cazzulo-Klepzig, M.C. & Correia, N.R. 1981. Contribuição ao estudo da Taoflora permiana no membro Serrinha na Serra do Cadeado, Estado do Paraná, Brasil. *Congresso Latinoamericano de Paleontologia, Porto Alegre*, 1: 233-247.

Cazzulo-Klepzig, M.C. 1978. Estudo da taoflora do Membro Morro Pelado na sua localidade-tipo. *Pesquisas, Porto Alegre*, 11:225-303.

Dentzien-Dias, P.C.; 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. doi:10.1016/j.jsames.2012.09.008

Ferraz, J.S.; Manfroi, J.; Jasper, A. & Pinheiro, F.L. 2021. Evidência de *Pecopteris* sp. nos depósitos da Formação Rio do Rasto, Permiano do Rio Grande do Sul, Brasil. In: ENCONTRO DE BOTÂNICOS DA REGIÃO SUL DO BRASIL, 1, 2021. Anais, Lajeado, UNIVATES, p. 113.

Ferreira-Oliveira, L.G. 2007. Conchostráceos permianos da Bacia do Paraná: taxonomia, evolução, bioestratigrafia e paleobiogeografia. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP- Rio Claro, 241 p.

Figueiredo, A.E.Q.; Schultz, C.L. & Dentzien-Dias, P.C. 2012. Considerações sobre a paleoictiofauna da Formação Rio do Rasto, Bacia do Paraná, Permiano Superior, Rio Grande do Sul. *Paleontologia em Destaque*, Ed. Especial, p.124.

Francischini, H.; Dentzien-Dias, P.C.; 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. *Palaios*, 33: 69-84. doi:10.2110/palo.2017.050

Gordon Jr., M. 1947. Classificação das formações Gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos, DNPM/DGM, Rio de Janeiro*, 38:1-20.

Guerra-Sommer, M. & Cazzulo-Klepzig, M. 2000. As Floras Gondwânicas do paleozóico Superior do Rio Grande do Sul. In: M. Holz & L.F. de Ros (eds.) *Paleontologia do Rio Grande do Sul*, Centro de Investigações do Gondwana/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 67-84.

Guerra-Sommer, M. & Scherer, C.M.S. 2000. Middle- Late Triassic petrified forests from Mata Sandstone at Rio Grande do Sul State, BR: a preliminary geological, taphonomic and biostratigraphic setting. *Geociências*. Universidade Federal de Guarulhos, v. (nº especial). p. 117-120.

Guerra-Sommer, M.; Marques Toigo, M. & Cazzulo Klepzig, M. 1995. Paleoclimatic implication of Lycophyta in the Gondwana of Southern Brazil. *Pesquisas, Instituto de geociências UFRGS, Porto Alegre*, 22:21- 31.

Herbst, R. 1986. *Cyclodendron cf. lesliei* (sew.) (Lycopodopsidaceae, Lycopsideae) del pérmico de Paraguay y Uruguay. *Facena* 6:33-36.

Iannuzzi, R. 2010. The flora of Early Permian coal measures from the Paraná Basin in Brazil: a review. *International Journal of Coal Geology*, 83:229–247. doi.org/10.1016/j.coal.2010.05.009

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. Censo Brasileiro de 2019. Rio de Janeiro.

Martins, E.A. & Sena-Sobrinho, M. 1951. *Lycopodiopsis derby* (Renault) e *Glossopteris* sp. na Estrada Nova (Permo-Triássico) do Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 2:323-326.

Mendes, J.C. 1954. Contribuição a estratigrafia da Série Passa Dois no Estado do Paraná. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras*, série Geologia, 175(10), 119 p.

Milani, E.J.; Melo, J.H.G.; Souza, P.A.; Fernandes, L.A. & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, 15:265-287.

Minello, L.F. 1995. As “florestas petrificadas” da região de Santa Maria: histórico, legislação e destinação. *In: Ciência & Ambiente*, Santa Maria, 10:49-61.

Müller Filho, I.L. 1970. Notas para o estudo da Geomorfologia do Estado do Rio Grande do Sul. Brasil. Departamento de Geociências, UFSM, Publicação Especial, n.1, Santa Maria, 34p.

Pauliv, V.; Martinelli, G.; Francischini, H.; Dentzien-Dias, P.C.; 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*, 80:482-493. [doi:10.1016/j.jsames.2017.09.007](https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.09.007)

- Reed, F.R.C. 1929. Novos fósseis phyllopodos do Brasil. *Boletim do Serviço Geológico e Mineral do Brasil*, 21 p. (Boletim 34).
- Richer, M. & Langer, M. 1998. Fish remains from the Upper Permian Rio do Rasto Formation (Paraná Basin) of southern Brazil. *Journal of African Earth Sciences*, 27: 158-158.
- Rohn, R.O. 1988. Bioestratigrafia e paleoambientes da Formação Rio do Rasto na borda leste da Bacia do Paraná (Permiano Superior, estado do Paraná). Dissertação de mestrado, IGc, USP, São Paulo, 111 p.
- Rohn, R.O. 1989. Novas ocorrências de *Glossopteris* na Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná, Permiano Superior). *Boletim IG-USP. Publicação Especial*. 7:101-125.
- Rohn, R.O. 1984. Paleontologia da Formação Rio do Rasto. *In: Rösler, O. Revisão de tópicos de geologia e paleontologia da Bacia do Paraná e seu embasamento. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, 2:1026-1207.*
- Rohn, R.O & Rösler, R. 1986. Pteridófitas pecopteróides da Formação Rio do Rasto no estado do Paraná e da Formação Estrada Nova de São Paulo (Bacia do Paraná, Permiano Superior). *Boletim IG-USP. Instituto de Geociências. São Paulo*. 17:57-76.
- Rosa Filho, E.; Hindi, E.C.; Mantovani, L.E. & Bittencourt, A.V.L. 2011. Aquíferos do Estado do Paraná. Curitiba. 145 p.
- Rösler, R. & Rohn, R.O. 1984. *Sphenophyllum paranaense* (Sphenophyta) da Formação Rio do Rasto de Dorizon, Estado do Paraná. *Boletim IG-USP. Instituto de Geociências. São Paulo*. 15:97-104.
- Schultz, C.L.; Martinelli, A.G.; Soares, M.B.; Pinheiro, F.L.; Kerber, L.; Horn, B.L.D.; Pretto, F.A.; Müller, R.T. & Melo, T.P. 2020. Triassic faunal successions of the Paraná Basin,

southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 104: 102846.
doi:10.1016/j.jsames.2020.102846

Sena-Sobrinho, M. 1959. Geologia do Município de Dom Pedrito. Estudos Regionais. Departamento de Produção Mineral. DPM, Porto Alegre.

Sommer, F. & Trindade, N. 1966. Lycopodiales do Gondwana brasileiro- Ministério de Minas e Energia, Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, Rio de Janeiro, 31 p. (Boletim 230).

Spiekermann, R.; Jasper, A.; Guerra-Sommer, M.; Ricardi-Branco, F. S.; Faria, R.S & Uhl, D. 2021. Permian Lycopoids from Brazil. *Brasilian Paleofloras*, p. 1-29.

Suertegaray, D.M.A. 1996. Rio Grande do Sul: Morfogênese da Paisagem Questões para a Sala de Aula. *Boletim Gaúcho de Geografia*, Porto Alegre, 21:117-132.

Yin, H.; Feng, Q.; Lai, X.; Baud, A. & Tong, J. 2007. The protracted Permo-Triassic crisis and multi-episode extinction around the Permian–Triassic boundary. *Global and Planetary Change*, 55: 1-20. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.06.005

White, I.C. 1908. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. DNPM, Rio de Janeiro, Parte I, p.1-300; Parte II p. 301-617. (ed. Fac-similar de 1988).

Figuras:

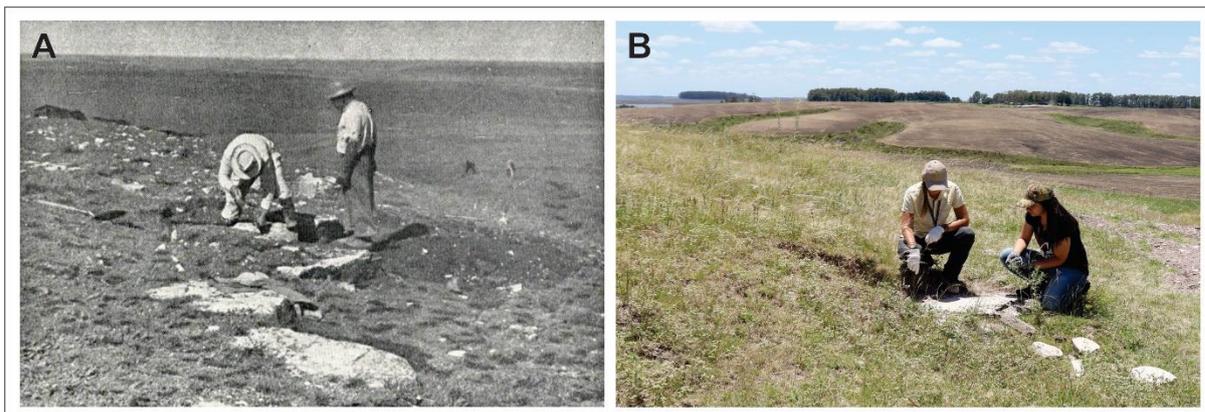


Figura. 01 – Fotografias do afloramento Cerro Chato, evidenciando o nível fossilífero calcário aflorante na superfície. A) Fotografia publicada em Martins e Sena-Sobrinho (1951), anunciando a descoberta do sítio fossilífero. B) Fotografia atual, após a redescoberta da localidade.

Figure. 01 – Photographs of the Cerro Chato outcrop indicating the calcareous fossiliferous level that crops out on the surface. A) Photograph published by Martins and Sena-Sobrinho (1951), announcing the discovery of the fossiliferous outcrop. B) Photograph taken by the authors after the rediscovery of the site.

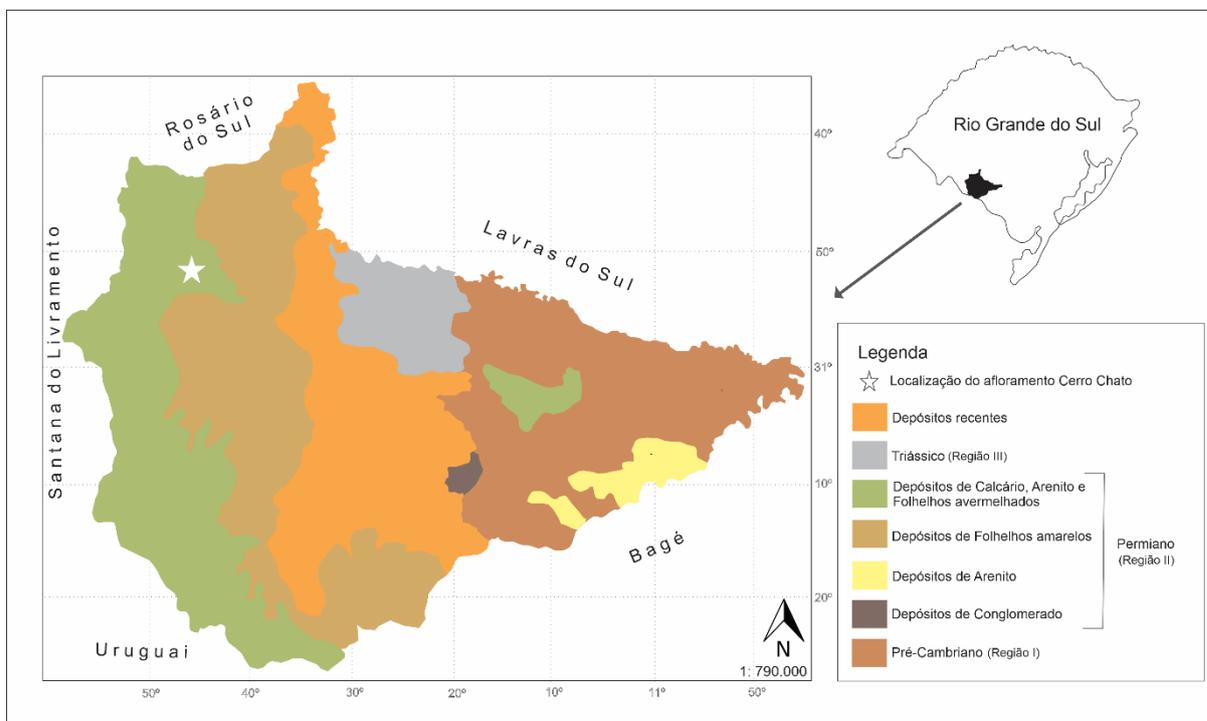


Figura. 02 – Mapa simplificado da Geologia do Município de Dom Pedrito e indicação da localização do afloramento Cerro Chato. (Adaptado de Sena-Sobrinho, 1959).

Figure. 02 – Simplified geological map of Dom Pedrito municipality and localization of the Cerro Chato outcrop. (modified from Sena-Sobrinho, 1959).

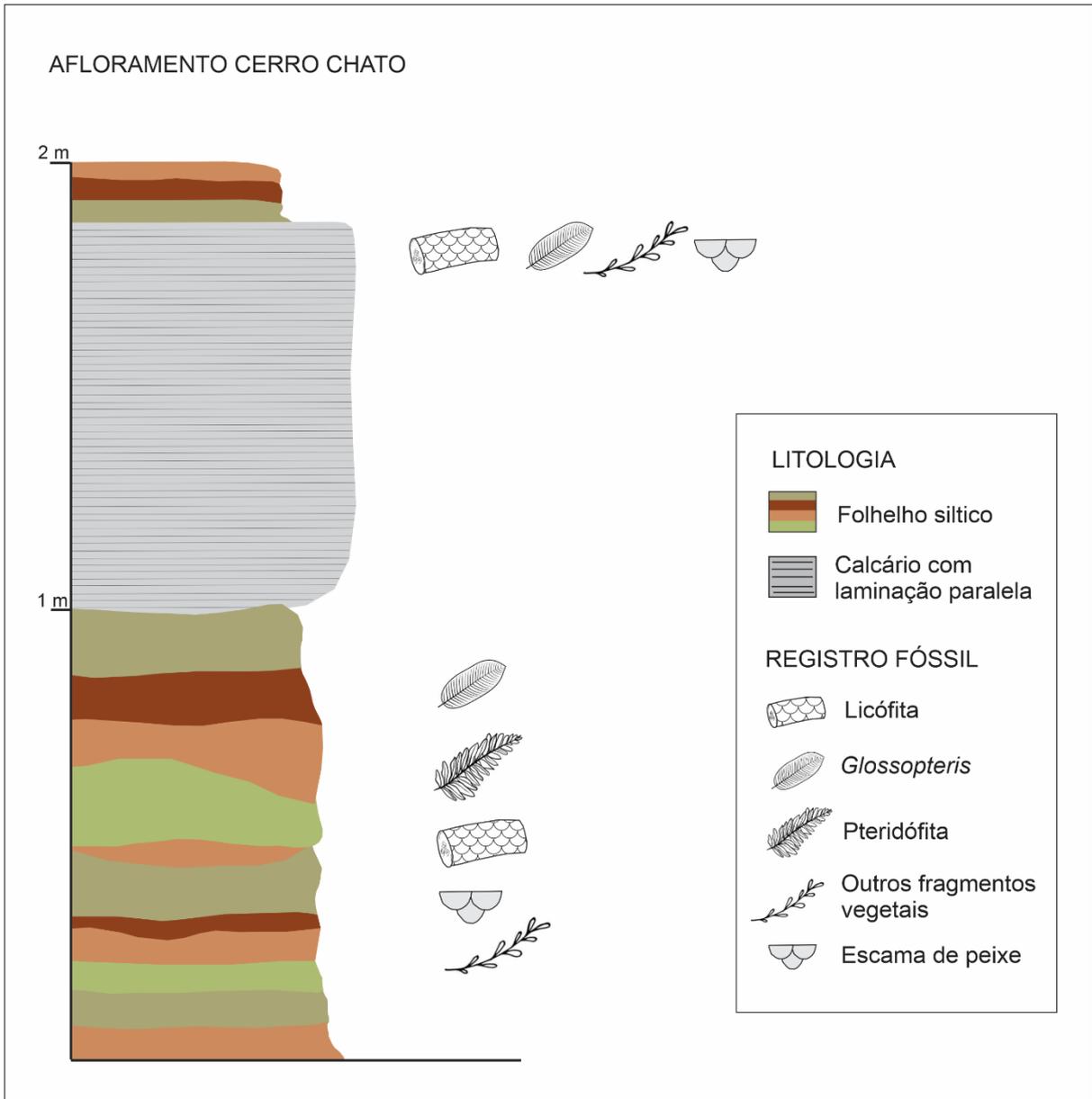


Figura. 03 – Perfil estratigráfico do afloramento Cerro Chato, evidenciado os diferentes níveis fossilíferos e microfósseis já recuperados.

Figure. 03 – Stratigraphic profile of the Cerro Chato outcrop, indicating the different fossiliferous levels and macrofossils recovered thus far.



Figura. 04 – Etapas da realização da coleta do material fóssilífero. A) Prospecção de fósseis na fácies de calcário consolidado exposta ao nível do solo; B) Remoção de camada de solo e abertura de trincheira com uso de retroescavadeira em ponto específico do afloramento com ausência de camada calcária; C) Realização de cortes em quadrantes na fácies síltica do afloramento com o auxílio de motosserra; D) Execução de quadrantes de forma repetida e escalonada ao longo do afloramento, possibilitando uma coleta estratigraficamente controlada e eficiente; E) Prospecção de material fóssilífero ao longo das distintas camadas do afloramento; F) Obtenção de medidas e imagens dos fósseis encontrados como, por exemplo, uma licófitas de dimensões expressivas (>1 m).

Figure. 04 – Different stages of our collection efforts. A) Fossil prospection on the consolidated limestone facies that crops out at ground level; B) Removal of soil and opening of a trench using a backhoe where the limestone layer is absent; C) Quadrant cuts in the silty facies of the outcrop with the aid of a chainsaw; D) Execution of quadrants repeatedly and staggered along the outcrop, enabling a stratigraphically controlled and efficient collection; E) Prospecting for fossiliferous material along the distinct layers of the outcrop; F) Measurements and *in situ* image acquisition of fossils, as an example of lycophytes with considerable dimensions (>1 m).

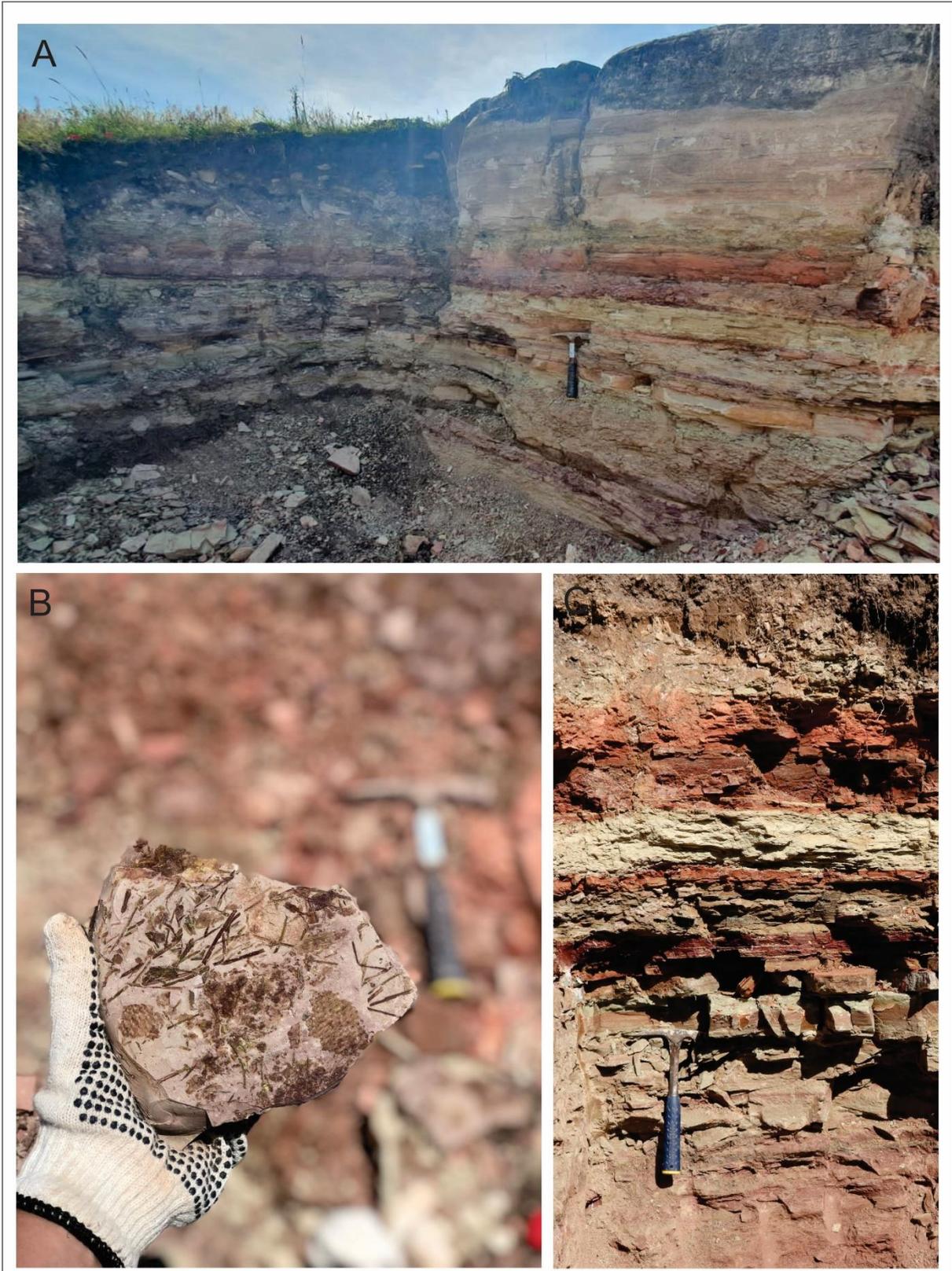


Figura. 05 – A) Vista geral dos novos níveis fossilíferos do afloramento Cerro Chato; B) Fotografia em campo demonstrando a abundância dos fósseis preservados; C) Detalhe dos níveis de siltito de onde provém grande parte das coletas.

Figure. 05 – A) Overview of the new fossiliferous levels of Cerro Chato outcrop; B) Field photography demonstrating the abundance and preservation mode of fossils; C) Silt layers from where most specimens were collected.

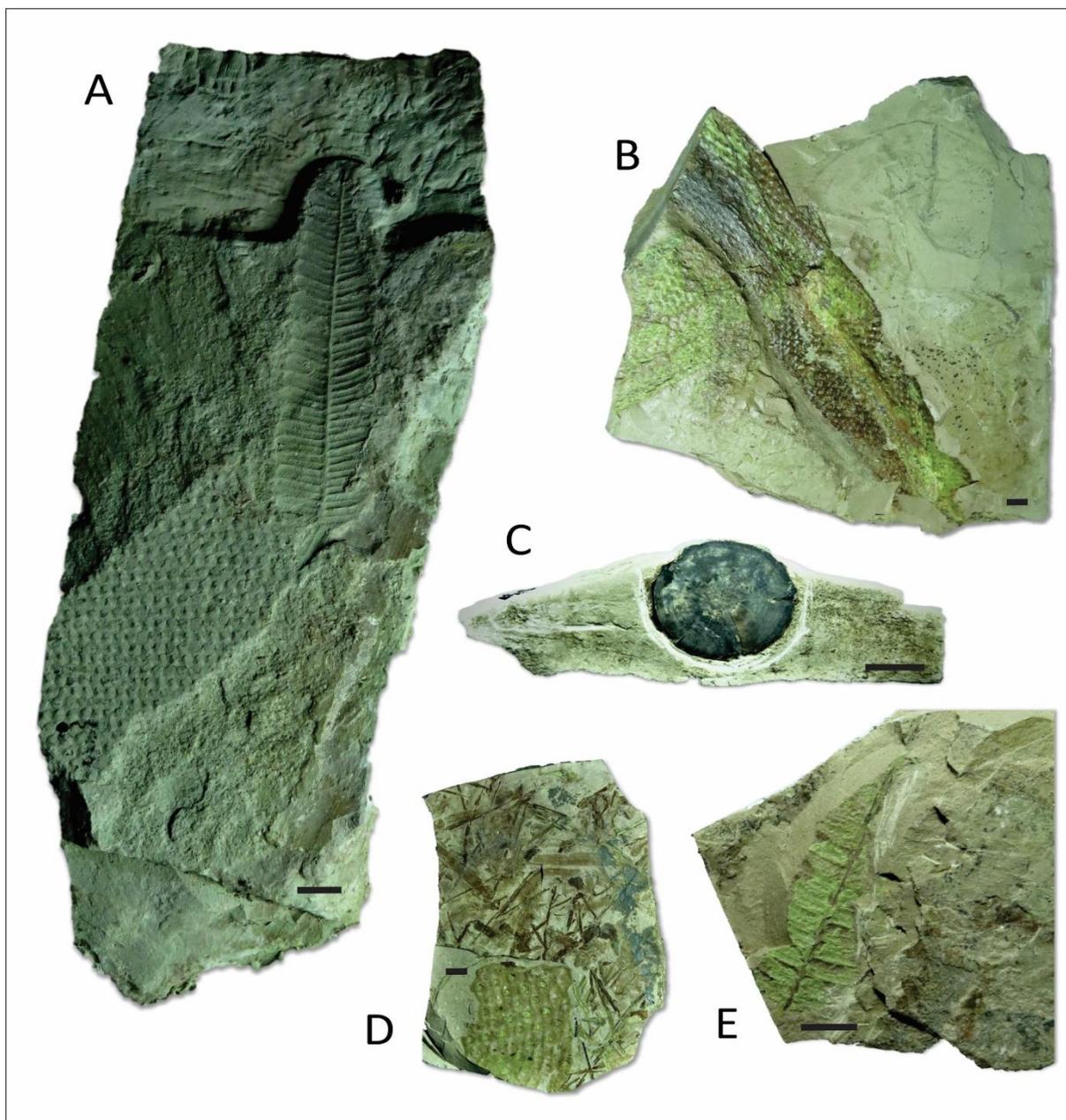


Figura. 06 – Exemplos de fitofósseis coletados no afloramento Cerro Chato. Fósseis coletados na fácies sílica do afloramento, com exceção do lenho (C), coletado na fácies calcária. Escala = 1cm. A) *Pecopteris* sp. e *Lycopodiopsis* sp. preservadas em associação; B) Licófitas com almofadas foliares preservadas; C) Lenho silicificado em corte transversal; D) Diversos fragmentos de fitofósseis, principalmente microfílos e caules de licófitas; E) Pteridófitas com pinas e pínulas preservadas.

Figure. 06 – Fossil plants collected in the Cerro Chato outcrop. Specimens from the silty facies of the outcrop, with the exception of the wood fragment (C), which was collected in the limestone layer. Scale bar = 1cm. A) *Pecopteris* sp. and *Lycopodiopsis* sp. preserved in association; B) Lycophyte with preserved leaf bases; C) Silicified wood in cross section; D) Several fragments of fossil plants, mainly microphylls and stems of lycophytes; E) Pteridophyte with preserved pinnae and pinnules.

3.2. Manuscrito II

(Manuscrito submetido na revista Journal of South American Earth Sciences, em 2022).

09/11/2022 11:42

E-mail de Universidade Federal do Pampa - SAMES-D-22-00592 - Confirming your submission to Journal of South American Earth Sciences



Joseane Salau Ferraz <joseaneferraz.aluno@unipampa.edu.br>

SAMES-D-22-00592 - Confirming your submission to Journal of South American Earth Sciences

1 mensagem

Journal of South American Earth Sciences <em@editorialmanager.com>
Responder a: Journal of South American Earth Sciences <support@elsevier.com>
Para: Joseane Salau Ferraz <joseaneferraz.aluno@unipampa.edu.br>

8 de novembro de 2022 23:41

This is an automated message.

AN EXQUISITELY PRESERVED PECOPTERIS SP. FROM THE PERMIAN RIO DO RASTO FORMATION, SOUTHERNMOST BRAZIL

Dear Miss Ferraz,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Journal of South American Earth Sciences. It has been assigned the following manuscript number: SAMES-D-22-00592.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/sames/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
Journal of South American Earth Sciences

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?

https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/

For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>

Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

This journal uses the Elsevier Article Transfer Service. This means that if an editor feels your manuscript is more suitable for an alternative journal, then you might be asked to consider transferring the manuscript to such a journal. The recommendation might be provided by a Journal Editor, a dedicated Scientific Managing Editor, a tool assisted recommendation, or a combination. For more details see the journal guide for authors.

#AU_SAMES#

**AN EXQUISITELY PRESERVED *PECOPTERIS* SP. FROM THE
PERMIAN RIO DO RASTO FORMATION, SOUTHERNMOST
BRAZIL**

**JOSEANE SALAU FERRAZ^{1*}, JOSELINE MANFROI², KARINE POHLMANN
BULSING¹ and FELIPE L. PINHEIRO¹**

¹*Laboratório de Paleobiologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, Campus São Gabriel, Caixa Postal: 02, CEP: 97.300-970, São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brazil.*

<https://orcid.org/0000-0001-6401-758X> (J.S.Ferraz), <https://orcid.org/0000-0002-4197-0594> (K.P.Bulsing)

<https://orcid.org/0000-0003-3354-914X> (F.Pinheiro)

²*Antarctic and Patagonia Paleobiology Laboratory, Chilean Antarctic Institute-INACH, Plaza Muñoz Gamero 1055, Punta Arenas, Chile.*

<https://orcid.org/0000-0002-9242-549X> (J.Manfroi)

Keywords: Paraná Basin, Paleobiogeography, *Glossopteris* Flora.

* Corresponding author: joseaneferraz98@gmail.com

Joseane Salau Ferraz: Laboratório de Paleobiologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, Campus São Gabriel, Caixa Postal: 02, CEP: 97.300-970, São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brazil.

ABSTRACT: Pteridophytes are a decisive clade for the understanding of plant evolution, as well as their occupation and subsequent distribution in terrestrial environments. Early representatives of pteridophytes were the first vascular plants to colonize the transitional environments between water and land. New monilophytes fossil plants were recently recovered from the Cerro Chato outcrop, southernmost Brazil. This fossil locality preserves a rich record of fossil plants and fishes, embedded in Late Permian deposits of the Rio do Rasto Formation (Paraná Basin). Here we report a complete, exquisitely-preserved monilophyte pinna from the Cerro Chato outcrop, with well-defined morphological details in its pinnules. The new specimen belongs to the morphogen *Pecopteris*, known for having a wide distribution around the globe, being present in different strata of various ages. Although *Pecopteris* has already been reported for the Rio do Rasto Formation, the new record represents the southernmost occurrence of the taxon, widening its distribution in Gondwana.

Introduction

Throughout the evolutionary history of plants, pinnate compound leaves (common in present-day ferns) have been produced by different groups of plants. In the fossil record we find these structures, the fronds, in three distinct groups: Pteridophyta, Pteridospermales (a group of gymnosperms extinct during the Cretaceous) and Cycadeoidales (Vieira & Iannuzzi, 2000). The occurrence of this type of leaf morphology in different plant groups is probably a result of adaptive convergence, as these plants have specialized to survive under hot and humid conditions in tropical regions (Iannuzzi & Vieira, 2005).

From the fossil record to the present, ferns (Marattiales) stand out for revealing leaves with this morphology. Pecopterids form a diverse group of Marattialean ferns that lived during the Paleozoic (Taylor, Taylor & Krings, 2009). Due to their cosmopolitan distribution, these plants are of major interest for evolutionary, environmental and paleobiogeographic studies. In Brazil, the best known fossil genera are: *Asterotheca*, *Pecopteris* and *Dizeugotheca* (Cambria *et al.*, 2021).

The morphogenus *Pecopteris* is attributed to certain sterile fronds that occur in different strata of different ages and locations across the globe (Tavares, 2007). For this reason, *Pecopteris* can be assigned to plants that are not phylogenetically related, thus consisting of an artificial genus, based only on the morphological similarity of sterile fronds

Typically, pecopterid fronds are preserved by permineralization or impression-embedding and are relatively common in the Permian strata of the Paraná Basin (Tavares & Rohn, 2009). However, as already mentioned by Rohn and Rosler (1986), such pecopterids need further studies on their classification and biostratigraphic range. For the Paraná Basin, *Pecopteris* is recorded in the states of São Paulo (Rohn & Rosler, 1986; Tavares & Rohn, 2009), Paraná (Rohn & Rosler, 1986), Santa Catarina (Read, 1941; Dolianiti, 1957; Schmitt *et al.*, 2018) and Rio Grande do Sul (Vieira & Iannuzzi, 2000; Cambria *et al.*, 2021; Ferraz *et*

al., 2021a, b).

Despite the considerable record of *Pecopteris* for different deposits and ages in the Paraná Basin, its presence had not yet been documented for the Rio do Rasto Formation in the southern extreme of Brazil. Here, we present the southernmost Rio do Rasto Fm. record of *Pecopteris* sp., Upper Permian, Rio Grande do Sul state.

Paleontological and Geological Context

The fossiliferous deposits of the Rio Grande do Sul state, southern Brazil, stand out for the abundance and diversity of extinct faunas and floras, especially with regard to Permian and Triassic plants and land vertebrates. The Permian is well represented in the geological record of Southern Brazil, with an excellent depositional sequence comprising substantial Permian time bins. In Rio Grande do Sul Permian fossils include faunas as diverse as the early Permian mesosaur-bearing Irati Formation (e.g. Tim *et al.*, 1995) and the unique terrestrial tetrapod communities recovered from the Rio do Rasto Formation (e.g. Cisneros *et al.*, 2011, 2012). As for the occurrence of phytofossils, the Permian of southernmost Brazil includes important paleobotanical records that composed the "*Glossopteris* Flora". Also noteworthy is the fossil record of groups with present-day representatives, such as lycophytes, sphenophytes and ferns (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000).

The Cerro Chato outcrop is an important Permian fossil site from the Paraná Basin, preserving a characteristic facies sequence that is typical of the Serinha Member (Rio do Rasto Formation). The site has already produced representatives of the *Glossopteris* Flora, such as leaf impressions of *Glossopteris* sp., stems of *Paracalamites* sp. and stems and microphytes of *Lycopodiopsis* sp., among other fossil plants (Beurlen *et al.*, 1955; Sommer & Trindade, 1966; Ferraz *et al.*, 2021a, b). The Cerro Chato outcrop is also the source of the holotype of the lycophyte *Cyclodendron dolianitii* (Herbst, 1986), also with the presence of

Lycopodiopsis (Martins & Sena-Sobrinho, 1951).

The Cerro Chato site crops out within the boundaries of Dom Pedrito municipality, Rio Grande do Sul state, Brazil (FIG 1). It is situated in the intracratonic Paraná basin, an important sedimentary unit with about 1,500,000 km² of area, most of it located in Brazilian territory (Milani *et al.*, 2007). The sedimentary filling of the Basin Paraná is divided into six depositional supersequences, with the Cerro Chato outcrop referring to the Supersequence Gondwana I, which corresponds to a complete transgressive-regressive cycle controlled by tectonic and climatic changes that occurred after the Carboniferous glaciation. This sequence comprises units that range between the Carboniferous and Early Triassic (Milani *et al.*, 2007).

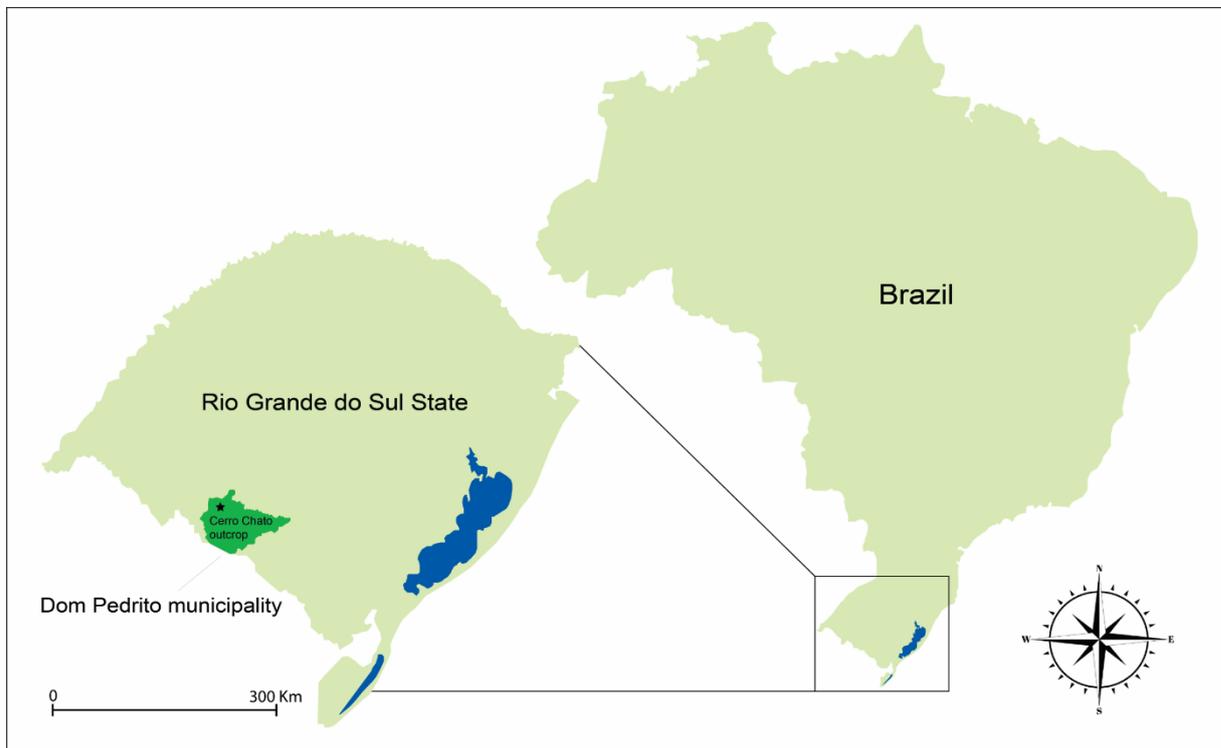


Figure. 01 – Simplified geological map of Dom Pedrito municipality and indication of the location of the Cerro Chato outcrop (star). Simplified map showing the geographic location of the Cerro Chato outcrop in the municipality of Dom Pedrito, Rio Grande do Sul state, Brazil.

The sedimentary infill of the Cerro Chato outcrop shows the predominance of two distinct facies. The upper one is characterized by plane-parallel light gray limestone levels,

with fossiliferous content on its top, approximately 80 centimeters thick. This layer is over- and underlain by the second facies, corresponding to the lenticular deposition of mudstone in reddish, purplish and greenish tones. This second facies also displays abundant fossil content.

The Rio do Rasto Formation is divided into two members: the lower Serrinha Member is characterized by sandstones, interspersed with siltstones and argillites with greenish, brownish and reddish coloration, sometimes also presenting lenticular or tabular limestone horizons (Rosa Filho *et al.*, 2011). By its turn, the upper Morro Pelado Member displays lenticular deposits of reddish sandstones, interspersed with siltstones and argillites, varying also in yellow, white and green colors. Sedimentary structures include channel shaped cross-stratification, cross and plane-parallel lamination, with tabular or sigmoidal depositional layers (Gordon, 1947).

The precursor system of the Rio do Rasto Formation deposits is complex. It is interpreted as a shallow marine environment that witnessed a marked transition from coastal plain deposits (Serrinha Member) to a fluvio-deltaic sedimentation (Morro Pelado Member). This notable environmental evolution reflects a characteristic aridization process, very evident in Permian deposits of southern Brazil (Milani *et al.*, 2007). The Rio do Rasto Formation displays a transitional contact with the underlying Teresina Formation and the overlying Botucatu Formation (Gordon, 1947).

Material and methods

We present, here, a new fossil plant specimen collected from the outcrop Cerro Chato (30°53'16" S 54°54'50" W), Dom Pedrito municipality, Rio Grande do Sul state, southernmost Brazil. The specimen was collected from one of the mudstone levels below the thick limestone layer shown in figure 02. The fossiliferous level from which the specimen was

collected has an abundant record of fossil plants, mainly lycophytes. The new specimen we describe is in close association with a lycophyte fragment.

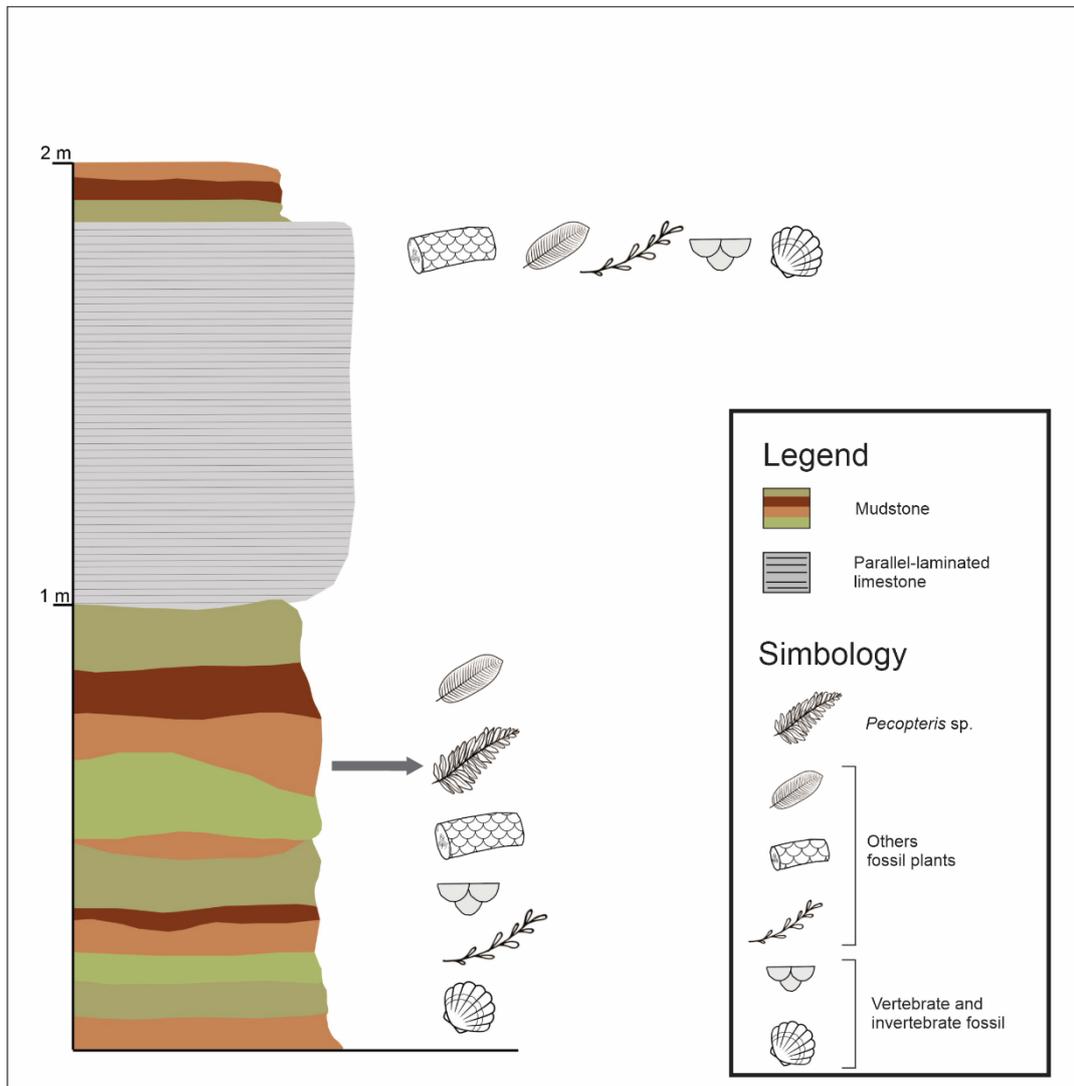


Figure. 02 – Lithological profile of the Cerro Chato outcrop indicating the different fossiliferous levels and the recovered macrofossils. The arrow indicates the level from which the *Pecopteris* was collected.

The new specimen is deposited in the fossil collections of the Laboratório de Paleobiologia (Universidade Federal do Pampa, São Gabriel, Brazil), under the number PBCC 001. It consists of impressions of a pinna with well-preserved pinnules, displaying exquisitely preserved morphological details of its leaf venations. It was analyzed under a stereomicroscope (Zeiss Stemi 2000-C) with a magnification of 10× and 40× enabling the

morpho-anatomical analysis, being photographed with the use of a integrated camera (Canon EOS Rebel XT), at the Laboratory of Paleobotany and Evolution of Biomes of the University Vale do Taquari (UNIVATES).

For an accurate measurement of minute features, we used ImageJ. The relation of measurements and proportion values calculated for the specimen was based on the works on Paleozoic philicines by Rohn and Rosler (1986), Vieira (2004), Tavares (2007) and Rohn *et al.*, (2021). After the diagnosis of preserved anatomical structures, taxonomic relationships were performed and, in addition, Corel Draw 2021 and Adobe Illustrator were used to compose and edit anatomical illustrations.

Results

Systematic Paleontology

Kingdom Plantae

Clade Monilophyta Kenrick e Crane 1997

Class Polypodiopsida Doweld 2001

Order Marattiales Link 1833

Family Marattiaceae Kaulf 1824

Genero *Pecopteris* Sternberg 1825

Specie *Pecopteris* sp.

Type specimens. PBCC-001 referring to a partially preserved sterile pinna.

Description

Pinna - partially complete 88.10 mm long and 21.50 mm wide. The rachis is 1,30 mm wide, with an angle of $>90^\circ$ at the apex of the pinna. It has pinnules alternately arranged on the rachis, which are in contact with each other or even imbricated, having an insertion angle

between 63° - 85° . The pinna is formed by 41 pinnules, 20 pinnules being arranged on the left side and another 21 pinnules arranged on the right side of the pinna.

Pinnules - are oblong and have rounded apices, slightly curved towards the distal portion of the pinna. The pinnules are inserted into the pinna rach along the entire length of their bases and have entire, parallel margins. The length of the pinnules ranges from 6.20 mm - 11.24 mm in length. While the width of the pinnules varies from 3,10 mm - 4,16 mm. There are 2 - 3 pinnules per centimeter. And it is visible that the pinnules have varying sizes as they approach the apex of the pinna, i.e. larger pinnules are concentrated in the proximal portion, while those concentrated in the distal portion are smaller.

Venation - The middle vein is slightly curved towards the apex of the pinnule, sometimes oblique and undivided, with a thickness varying between 0,20 mm - 0,36 mm. The lateral veins are rectilinear towards the margins of the pinnule and start opposite on both sides of the middle vein, so that the spacing between the lateral veins is up to 1 mm, at angles between 23° - 55° , with a density of approximately two pinnules per millimeter, resulting in approximately 10 to 12 pairs in each pinnule. On average, the length of the lateral veins is 1.5 mm and width of 0.20 mm. In some lateral veins it is visible "Y"-shaped dichotomization that extends to the margin of the pinnule, forming 50° angles (FIG 3).

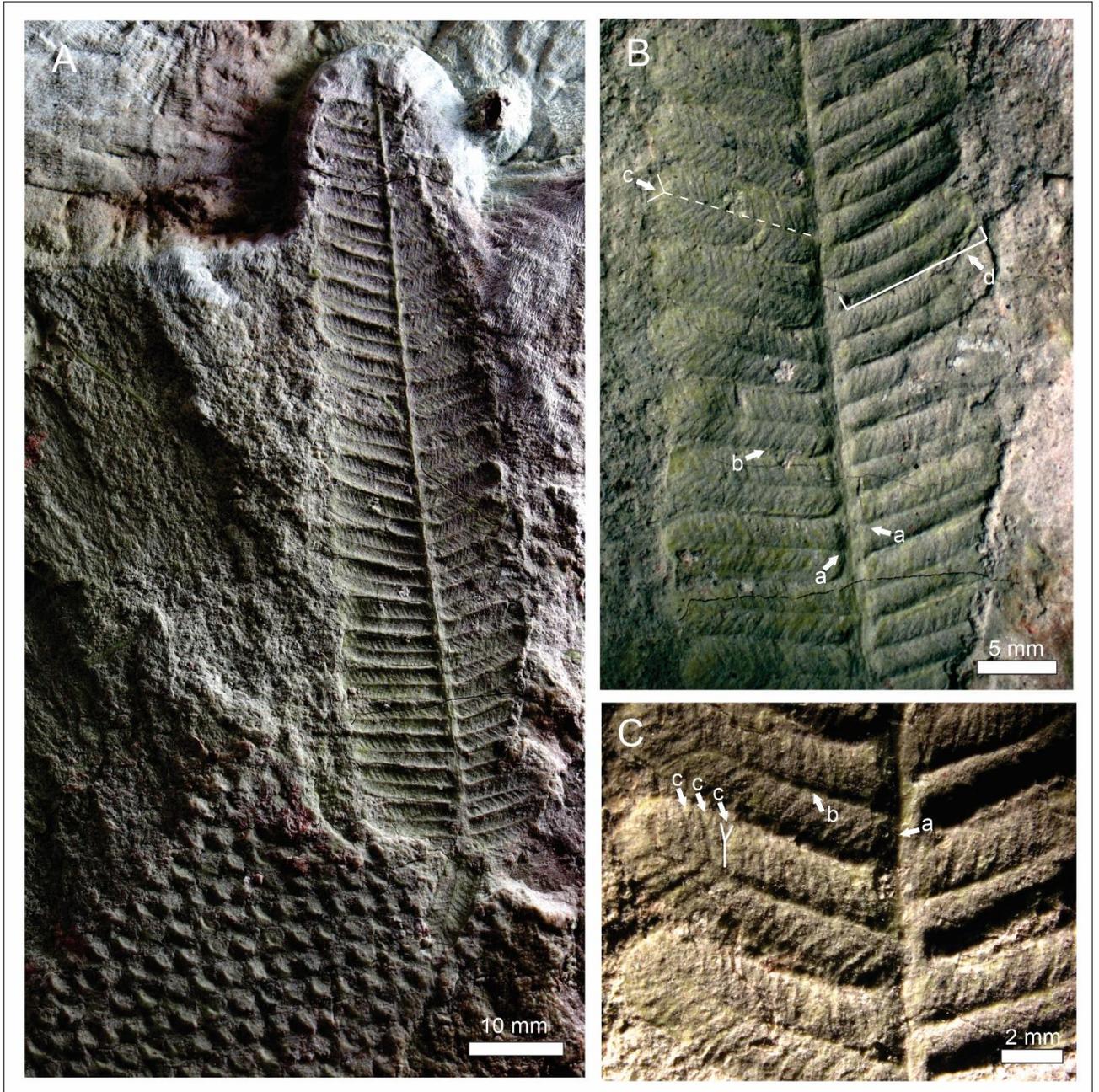


Figure. 03 – A) General view of the sterile pinna of *Pecopteris* sp. associated with a *Lycopodiopsis* sp. stem; B) Detail of the sterile pinna demonstrating morphoanatomical characteristics: a) opposite arrangement of pinnules, b) pinnules in contact with each other or imbricated, c) pinnules having an insertion angle between 63°- 85°, d) pinnules oblong in shape; C) Detail of the pinnules demonstrating morphoanatomical characteristics: a) pinnules with basis fused to the rachis, b) pinnules with decurrent mid vein, c) venation with dichotomization in the pinnules.

The presence of small pinnules and the arrangement of venation with dichotomization

are characteristic of *Pecopteris*. In addition, the morpho-anatomical features described above clearly show affinities with *Pecopteris* in a number of relevant diagnostic features, such as: the opposite arrangement of pinnules, the alternate arrangement of pinnule bases, the apex angles of pinnae 63°- 85°, pinnules with basis fused to the rachis, pinnules oblong in shape, the decurrent mid vein and, finally, the dichotomized venation (FIG 3).

Discussion

The morphogenus *Pecopteris* was proposed in 1822 by Brongniart, and later the term pectopterid came to be used to encompass all morphogens with similar fronds (Brongniart, 1822). The main diagnostic features of *Pecopteris* are fronds with apparently simple morphology, reduced size of the pinnae and pectopterid venation (Cleal & Thomas, 2018). Although *Pecopteris* is attributed to only sterile fronds, the term pectopterid is also applied to fertile fronds (Vieira, 2004). Gradually, reviews about the pectopterid fronds described in the literature have been carried out, since fragmentary plants and the preservation of different ontogenetic stages of the fronds may have increased the number of morphospecies for the group (Herbst & Amábili, 2011; Vieira, 2004; Vieira *et al.*, 2007). Rohn *et al.* (2021) assume that all records of sterile pectopterids in the Paraná Basin are related to ferns and not to pteridosperms, since there are no records of Permian fronds of this second group in the basin.

For the Paraná Basin, the morphospecies formally described are: *Pecopteris bracingaensis* Rohn & Rosler, *Pecopteris cadeadensis* Rohn & Rosler, *Pecopteris cambuhyensis* Read, *Pecopteris dolianitii* Rohn & Rosler, *Pecopteris esperancensis* Rohn & Rosler, *Pecopteris paranaensis* Read, *Pecopteris pedrasica* Read, and *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rosler. *Pecopteris pedrasica* is the pectopterid with the widest stratigraphic and geographic distribution in South America, occurring from the Neocarboniferous to the Neo-Permian (Vieira *et al.*, 2007).

Pecopterids are relatively common in the Rio do Rasto Formation (Rohn & Rosler, 1986). In a recent work, Rohn *et al.* (2021) identified 40 localities with presence of *Pecopteris* throughout the Rio do Rasto Formation. In general, the leaves are fragmentary, being represented mainly by isolated/incomplete pinnae and rare more complete records of fronds, such samples are preserved as impressions covered by iron oxide (Rohn *et al.*, 2021).

For the Rio do Rasto Formation, *Pecopteris* was recorded for the first time by Oliveira (1918). This author identify phytofossils collected from the Paraná State, in an outcrop that was later recognized as the type locality of the Serrinha Member (Rohn *et al.*, 2021). Rohn and Rosler (1986), based on 78 specimens, described several species for the State of Paraná, close to the northern boundaries of the Rio do Rasto Formation. Rohn *et al.*, (2021), point out that the species *P. esperancensis*, *P. dolianitii*, *P. bracatingaensis* and *Pecopteris* sp. 3 are likely to have a very close relationship. Mendes (1952, 1967) mentions the presence of *Pecopteris* in the Serrinha Member, also in Paraná, but does not provide further information about the specimens from which this attribution was made (Cazzulo-Klepzig, 1978).

Rosler (1978 a, b) mentions the occurrence of the genus in Rio do Rasto Formation localities from the Santa Catarina state. Also in 1978, Cazzulo-Klepzig recorded small fragments of fronds found on Morro Mateus Pelado, in the municipality of São Joaquim, Santa Catarina, belonging to a further species, *P. opposita*. In the same work, the author records fronds belonging to *P. pedrasica* (Read, 1941). Other samples were attributed to *Pecopteris* sp. for the same outcrop, but these lack more diagnostic characters due poor preservation. In the review by Rohn *et al.*, (2021), the authors point out that *P. cadeadensis* (Rohn and Rosler, 1986) is similar to *Pecopteris* sp. recorded by Cazzulo-Klepzig and Correia (1981). The former was based on a few specimens found in Serra do Cadeado, and additionally on four outcrops in the States of Paraná and Santa Catarina.

For the Rio Grande do Sul state, the record of *Pecopteris* is still incipient when

compared to what was recorded for other Brazilian states where the Paraná Basin crops out. In Rio Grande do Sul, for the Rio Bonito Formation, *Pecopteris* sp. was recorded in the municipality of Mariana Pimentel (Vieira & Iannuzzi, 2000) and *Pecopteris pedrasica* Read, was reported for the first time by Vieira (2004). In the year 2021, Cambraia and collaborators described the occurrence of fronds of *Pecopteris* sp. for the Teresina Formation, in the municipality of Aceguá. However, to date there is no record of *Pecopteris* occurring in the Rio do Rasto Formation deposits in Rio Grande do Sul, which corresponds to the southernmost part of Brazil. Thus, the *Pecopteris* sp. presented in this study corresponds to the first record for the Rio do Rasto formation in the southernmost portion of the Paraná Basin, thus significantly extending its paleogeographic distribution. This extension in the paleogeographic distribution of pecopterids once again confirms the cosmopolitan characteristic of the group and demonstrates that *Pecopteris* was a common element in the Gondwana paleophytogeographic domains during the Upper Paleozoic (Cúneo, 1996).

Conclusions

Based on the data presented here, it is possible to draw the following:

- (1) The specimen analyzed and described corresponds to *Pecopteris* sp. due to the preserved morphoanatomical characteristics.
- (2) This is the first record of *Pecopteris* sp. for the Rio do Rasto Formation in Rio Grande do Sul, the southernmost portion of Brazil.
- (3) The pecopterids were a common element in the paleophytogeographic domains of Gondwana during the Upper Paleozoic south of the Paraná Basin.

Acknowledgements

We are grateful to the Laboratory of Paleobotany and Evolution of Biomes of the

University Vale do Taquari (UNIVATES) and Prof. Dr^o. André Jasper for access to laboratory analysis instruments. We thank Ândrea Pozzebon laboratory assistance. This work was supported by the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS process 21/2551-0002039-3. This study was also financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

References

Beurlen, K., Sena-Sobrinho, M., & Martins, E.A. (1955). Formações Gondwânicas do Rio Grande do Sul. *Boletim do Museu Nacional, nova série, Geologia*, Rio de Janeiro, 22:1–57.

Brongniart, A. (1822). Sur la classification et la distribution des végétaux fossiles en général, et sur ceux des terrains de sédiment supérieur en particulier. *Mémoires du Muséum d'Histoire Naturelle*, 8: 203–240, 297–348.

Cambria, V., Cenci, R., Netto, R.G., Kern, H.P., Cagliari, J., Sedorko, D. (2021). Pecoeterids from the Permian of the Extreme South of the Paraná Basin, Brazil. *Terra Plural (UEGP. ONLINE)*, v. 15, p. 1–17, e21188261-17. doi: 10.5212/TerraPlural.v.15.2118261.041

Cazzulo-Klepzig, M. (1978), Estudo da Tafoflórula do Membro Morro Pelado na sua Localidade-tipo: *Pesquisas em Geociências*, 11:225–303.

Cazzulo-Klepzig, M.C. & Correia, N.R. 1981. Contribuição ao estudo da Tafoflora permiana no membro Serrinha na Serra do Cadeado, Estado do Paraná, Brasil. In: *CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA*, 1, Porto Alegre, 233–247.

Cisneros, J.C., Abdala, F., Atayman-Güven, S., Rubidge, B.S., Celâl Sxengör, A.M. & Schultz, C.L. (2012). Carnivorous dinocephalian from the Middle Permian of Brazil and tetrapod dispersal in Pangaea. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109:1584–1588. doi: 10.1073/pnas.1115975109

Cisneros, J.C., Abdala, F., Rubidge, B.S., Dentzien-Dias, P.C & de Oliveira Bueno, A. (2011). Dental Occlusion in a 260-Million-Year-Old Therapsid with Saber Canines from the Permian of Brazil. *Science*, 331:1603–1605. doi: 10.1126/science.1200305

Cleal, C.J., & Thomas, B.A. (2018). Nomenclatural status of the Palaeobotanical “Artificial Taxa” established in Brongniart’s 1822 “Classification” paper. *Fossil Imprint*, 74(1/2), 9–28. doi: 10.2478/if-2018-0001

Cúneo, N.R. (1996). Permian phytogeography in Gondwana. *Palaeogeography*,

Palaeoclimatology, Palaeoecology, 125, 75–104. doi:10.1016/S0031-0182(96)00025-9

Doliani, E. (1957). *Eupecopteris* no Gondwana no Rio Grande do Sul. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 6(2): 61–67.

Ferraz, J.S., Bulsing, K.P., Manfroi, J., Guerra-Sommer, M., Jasper, A. & Pinheiro, F.L. (2021a). Redescoberta do afloramento Cerro Chato, um importante sítio fossilífero para o Permiano da Bacia do Paraná. *Boletim em Destaque (Sociedade Brasileira de Paleontologia)*, 36(75):62–72. doi: 10.4072/paleodest.2021.36.75.04

Ferraz, J.S., Manfroi, J., Jasper, A. & Pinheiro, F.L. (2021b). Evidência de *Pecopteris* sp. nos depósitos da Formação Rio do Rasto, Permiano do Rio Grande do Sul, Brasil. *Encontro de Botânicos da Região Sul do Brasil*, 1, 2021. Anais, Lajeado, UNIVATES, p. 113.

Francischini, H., Dentzien-Dias, P.C., 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. *Palaios*, 33: 69–84. doi:10.2110/palo.2017.050

Gordon Jr., M. (1947). Classificação das formações Gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos, DNPM/DGM, Rio de Janeiro*, 38:1–20.

Guerra-Sommer, M., & Cazzulo-Klepzig, M. (2000). As Floras Gondwânicas do Paleozóico Superior do Rio Grande do Sul. *Paleontologia do Rio Grande do Sul, Editora da UFRGS*, 67–84.

Herbst, R., & Amábili, V. (2011). *Asterotheca* en la Formación Tacuary (Pérmico Superior) del Paraguay Oriental. *Gaea - Journal of Geoscience*, 7:117–122. doi:10.4013/gaea.2011.72.05

Herbst, R. (1986). *Cyclodendron* cf. *leslii* (sew.) (Lycopodopsidaceae, Lycopsiidae) del pérmico de Paraguay y Uruguay. *Facena*, 6:33–36.

Iannuzzi, R., Vieira, C.E.L. (2005). *Paleobotânica*. 1 Ed. Editora da UFRGS, Porto Alegre.

Martins, E.A. & Sena-Sobrinho, M. (1951). *Lycopodiopsis derby* (Renault) e *Glossopteris* sp. na Estrada Nova (Permo-Triássico) do Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2:323–326.

Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A. & França, A.B. (2007). Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15:265–287.

Mendes JC (1952) Formação Corumbataí na região de do Rio Corumbataí: estratigrafia e descrição de lamelibrânquios. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e*

Letras da Universidade de São Paulo 145 (Geologia 08):1–119.

Mendes, J.C., 1967. The Passa Dois Group (The Brazilian Portion of the Paraná Basin). In: Bigarella, J.J., Becker, R.D., Pinto, I.D. (Eds.), Problems in Brazilian Gondwana Geology. Comissão da Carta Geológica do Paraná, Curitiba, p. 121–178.

Oliveira, E.P. (1918) Anexo. In: Holdhaus K (ed) Sobre alguns lamelibrânquios fósseis do sul do Brasil. vol 2. Rio de Janeiro, Serviço de Geologia e Mineralogia do Brasil, Monografia, 2:27–32.

Read, C.B. (1941). Plantas fósseis do Neo-paleozóico do Paraná e Santa Catarina. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Divisão de Geologia e Mineralogia. (Monografia 12).

Rohn, R. Tavares, T.M.V., Iannuzzi, R., Zardo, F. (2021). Ferns from Permian of Paraná Basin and Paleocological Interpretations. Iannuzzi, R., Rosler, R., Kunzmann, L. (eds.). Brazilian Paleofloras. 1 Ed. Springer Nature Switzerland, 1:1–69. doi: 10.1007/978-3-319-90913-4_17-1

Rohn, R.O & Rösler, R. (1986). Pteridófitas pectopteróides da Formação Rio do Rasto no estado do Paraná e da Formação Estrada Nova de São Paulo (Bacia do Paraná, Permiano Superior). Boletim IG-USP. Instituto de Geociências, 17:57–76. doi: 10.11606/issn.2316-8986.v17i0p57-72

Rösler, R.O. (1978a). The Brazilian Eogondwanic floral succession. Boletim IG-USP. Instituto de Geociências, 9:85–91.

Rösler, R.O. (1978b). Novas ocorrências na Formação Rio do Rasto, Permiano Superior, Estado do Paraná. Boletim IG-USP. Instituto de Geociências, 9:127–132.

Rosa Filho, E., Hindi, E.C., Mantovani, L.E. & Bittencourt, A.V.L. (2011). As águas subterrâneas no Estado do Paraná. Curitiba. Editora Maxi Gráfica, 145 p.

Schmitt, M.R., Boos, A.D.S., Martinelli, A.G., Soares, M.B. (2018). Nova localidade fossilífera da Formação Rio do Rasto (Guadalupiano/Lopingiano) Bacia do Paraná no Estado de Santa Catarina, Brasil. Boletim de Resumos Paleo 2017, 33(71): 33–34.

Sommer, F. & Trindade, N. (1966). Lycopodiales do Gondwana brasileiro. Ministério de Minas e Energia, Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, Rio de Janeiro, 31 p. (Boletim 230).

Tavares, T.M.V. (2007) Filicíneas Permianas permineralizadas da Formação Corumbataí, Nordeste da Bacia do Paraná. (Dissertação de mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP.

Tavares, T.M.V & Rohn, R. (2009). First record of petrified Permian pectopterids from the Paraná Basin, Brazil (Corumbataí Formation, Passa Dois Group, northeastern State of São

Paulo): Morphology, anatomy and paleoecological implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 27:60–73. doi:10.1016/j.jsames.2008.09.001

Taylor, T.N., Taylor, E.L., & Krings, M. (2009). *Paleobotany: The biology and evolution of fossil plants*. 2nd ed. Editora Elsevier Academic Press.

Tim. L.L., Soares, M. & Araújo-Barberena, D.C. 1995. Mesossauros: pequenos répteis aquáticos da América do Sul e África. *Ciência & Ambiente*, 10:27–37.

Vieira, C.E.L., & Iannuzzi, R. (2000). Presença de Pecopteris e Asterotheca no Afloramento Morro do Papaléo, Município de Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná). *Pesquisas em Geociências*, 27:49–64. doi: 10.22456/1807-9806.20190

Vieira, C.E.L., Iannuzzi, R., & Guerra-Sommer, M. (2007). Revisão de pecopterídeas polimórficas do Neopaleozóico da América do Sul. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 10:107–116.

Vieira, C.E.L. (2004). *Taxonomia, Paleocologia e Paleofitogeografia de frondes Pecopterídeas do Neopaleozóico da América do Sul*. (Tese de doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.

4. DISCUSSÃO

O afloramento Cerro Chato revela uma associação única de fragmentos fósseis de vertebrados, invertebrados e plantas. Tal assembleia faz deste sítio uma ocorrência de relevância mundial, uma vez que seu conteúdo fóssil, além de apresentar uma preservação excepcional, possibilita o resgate de dados paleoambientais no contexto de um importante marco temporal na história geológica da Terra, a extinção permo-triássica. Salienta-se, ainda, que estudos com enfoque em espécimes recuperados no afloramento já demonstraram o potencial de contribuições inéditas como, por exemplo, o trabalho realizado por Herbst (1986), que reavalia a espécie *Cyclodendron dolianitti* (Kräusel) Herbst, uma licopsida arborescente que ocupava ambientes úmidos.

O primeiro artigo científico aqui apresentado identifica a ocorrência de novos níveis fossilíferos no afloramento Cerro Chato. Tais níveis apresentam macrofósseis em excelente estado de preservação, sendo desconhecidos para Martins e Sena-Sobrinho (1951). Ainda, foi explorado o contexto geológico e deposicional do afloramento, o que possibilitou a construção do perfil geológico, permitindo reconhecer o afloramento como pertencente à Formação Rio do Rasto.

Foram empregadas metodologias de coletas sistemáticas e estratigraficamente controladas, o que permitiu resgatar amostras delicadas de forma eficiente, evitando o comprometimento da integridade dos delicados fósseis, comum na coleta de espécimes vegetais. Como resultado de tais esforços de coleta, nossas publicações científicas possibilitaram o reconhecimento, no afloramento, dos grupos Lycopsidea, Sphenopsida, Filicopsida, Gymnospermae, Pteridospermae, além de registros de vertebrados e invertebrados, como escamas de peixes e conchas de moluscos (Bulsing et al., 2021; Ferraz et al., 2021). Tais ocorrências ampliam o conhecimento a respeito da paleoecologia, paleoambientes e paleobiogeografia da Formação Rio do Rasto.

Nesse sentido, a partir de intensas coletas de campo, também foi possível dar início à reunião de uma Coleção Paleobotânica no Laboratório de Paleobiologia da UNIPAMPA *campus* São Gabriel. Tal coleção atualmente conta com mais de uma centena de espécimes coletados oriundas do afloramento Cerro Chato (BULSING et al., 2022).

O segundo manuscrito científico que integra este volume descreve o primeiro espécime recuperado a partir dos novos níveis deposicionais explorados do afloramento Cerro Chato. A amostra (PBCC 001) está depositada na Coleção Paleobotânica do Laboratório de Paleobiologia da UNIPAMPA. Trata-se de uma pina em excelente estado de preservação,

apresenta detalhamento morfológico de suas pínulas e venações foliares. Nossas investigações taxonômicas permitiram a atribuição do espécime ao gênero *Pecopteris*.

Apesar do considerável registro de *Pecopteris* para diferentes depósitos e idades na Bacia do Paraná, sua presença ainda não havia sido documentada para a Formação Rio do Rasto no Estado do Rio Grande do Sul. Essa ampliação na distribuição paleogeográfica assinala a característica cosmopolita do grupo e demonstra que *Pecopteris* era um elemento comum nos domínios paleofitogeográficos do Gondwana durante o fim do Paleozóico, também em zonas mais austrais da Bacia do Paraná.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossa análise da taflofa até o momento registrada para o afloramento Cerro Chato nos permite associá-la à flora que se desenvolvia nos bordos de corpos d'água, em locais com solos bastante úmidos e oxigenados. Estes eram ambientes típicos durante grande parte do Permiano no Rio Grande do Sul, com lagos, lagoas, planícies deltaicas e costeiras, inclusive responsáveis pela formação das jazidas de carvão mineral no sul do Brasil (GUERRA-SOMMER, 1995; MANFROI et al., 2012).

A Flora *Glossopteris*, também evidenciada no afloramento Cerro Chato, representa uma das mais importantes paleofloras preservadas ao longo do tempo geológico, pois testemunha as mais relevantes mudanças ambientais e climáticas ocorridas ao longo do Permiano, desde a transição da Fase *Ice House* para a Fase *Green House*, resultando na aridização de ambientes anteriormente quentes e úmidos. Além disso, apesar de uma organização geotectônica completamente distinta, o Permiano é o período geológico mais semelhante à atualidade no que diz respeito à distribuição das floras e seu posicionamento geográfico orientado por faixas latitudinais (GUERRA-SOMMER & CAZZULO-KLEPZIG, 2000).

Os esforços de coleta permitiram o reconhecimento do elevado potencial paleontológico do afloramento Cerro Chato. Os diversos níveis com ocorrência de fósseis evidenciam o excepcional estado de preservação das amostras coletadas. É excepcionalmente comum a presença de caules e folhas de licófitas, folhas de *Glossopteris*, além de outros fitofósseis preservados a partir de impressões sobre o sedimento fino, como PBCC 001. A qualidade preservacional e o conteúdo fossilífero documentado na presente dissertação indicam a possibilidade de recuperação de insetos e tetrápodes.

Do mesmo modo, o registro do novo espécime apresentado no segundo artigo científico fruto desta dissertação, juntamente com a demais flora registrada para o afloramento Cerro Chato, poderá ajudar no refinamento de informações acerca da taxonomia, paleoecologia, paleoambiente e distribuição biogeográfica dos grupos recuperados para o afloramento.

Apesar dos interessantes resultados obtidos na presente dissertação, a continuidade das investigações dos espécimes resgatados do afloramento Cerro Chato, bem como novas prospecções a campo são necessárias para um maior entendimento sobre a composição florística registrada para a Formação Rio do Rasto.

6. REFERÊNCIAS

- BENTON, M.J. & HARPER, D.A.T. **Basic Palaeontology**. 1ª ed. England, Addison Wesley Longman, Essex, 360 p. 1997.
- BOLZON, R. T. **Mudanças Florísticas Durante o Triássico: O Gondwana no Rio Grande do Sul**. *In: Ciência & Ambiente*, 10:63–77. 1995.
- BULSING, K.P.; FERRAZ, J.S.; PINHEIRO, F.L.; MANFROI, J. **Redescobrimo o afloramento Cerro Chato: Contexto Histórico e Paleontológico**. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 13, n. 3, 2021.
- BULSING, K.P.; FERRAZ, J.S.; SANTOS, M.A.C.; PREDEBON, C.P.; MACHADO, A.F.; MANFROI, J.; PINHEIRO, F.L. **A coleção paleobotânica do Laboratório de Paleobiologia (UNIPAMPA)**. Reunião Anual Regional da Sociedade Brasileira de Paleontologia - Rio Grande do Sul (Paleo RS). Dom Pedrito. Caderno de resumos, p.17, 2022.
- CÚNEO, N.R. **Permian phytogeography in Gondwana. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 125, 75–104. doi:10.1016/S0031-0182(96)00025-9. 1996.
- DOHMS, M.H. **Revisão Crítica das Citações de Flora *Glossopteris* Para o Rio Grande do Sul**. *Pesquisas em Geociências, Porto Alegre*. 7(1): 145–170, 1977.
- FERRAZ, J.S.; BULSING, K.P.; MANFROI, J.; GUERRA-SOMMER, M.; JASPER, A. & PINHEIRO, F.L. **Redescoberta do afloramento Cerro Chato, um importante sítio fossilífero para o Permiano da Bacia do Paraná**. *Boletim em Destaque (Sociedade Brasileira de Paleontologia)*, v. 36, n. 75, 62–72, 2021.
- GUERRA-SOMMER, M. & CAZZULO-KLEPZIG, M. **As floras Gondwânicas do Paleozóico Superior do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. *In: Holz, M. & De Ros, L.F. (eds.), Paleontologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFGRS, p. 67–84, 2000.
- GUERRA-SOMMER, M. **As paleofloras de camadas associadas a carvões no Rio Grande do Sul**. *In: Ciência & Ambiente*, 10:63–77, 1995.
- GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M.; SOUZA, P.A.; FÉLIX, C.M.; JASPER, A. **Record of Glossopterid Plants in the Southern Region of Brazil**. Iannuzzi, R., Rosler, R., Kunzmann, L. (eds.). *Brazilian Paleofloras*. 1 Ed. Springer Nature Switzerland, 1:1–35. doi: 10.1007/978-3-319-90913-4_17-1. 2021.
- HERBST, R. ***Cyclodendron cf. leslii* (sew.) (Lycopodopsidaceae, Lycopsideae) del pérmico de Paraguay y Uruguay**. *Facena*, 6:33–36, 1986.
- MANFROI, J.; JASPER, A.; GUERRA-SOMMER, M. & UHL, D. **Sub-arborescent lycophytes in coal-bearing strata from the Artinskian (Early Permian/Cisularian) of the Santa Catarina coalfield (Paraná Basin, SC, Brazil)**. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 15:135–140, 2012. DOI:10.4072/rbp.2012.2.02. Disponível em: https://www.sbpbrasil.org/revista/edicoes/15_2/RBP_02_Manfroi_et_al_Final.pdf. Acesso em: 30 de setembro de 2021.

MARTINS, E.A. & SENA-SOBRINHO, M. *Lycopodiopsis Derby (Renault) e Glossopteris sp. na Estrada Nova (Permo-Triássico) do Rio Grande do Sul*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 2:323–326, 1951.

ROHN, R. TAVARES, T.M.V., IANNUZZI, R., ZARDO, F. **Ferns from Permian of Paraná Basin and Paleocological Interpretations**. Iannuzzi, R., Rosler, R., Kunzmann, L. (eds.). Brazilian Paleofloras. 1 Ed. Springer Nature Switzerland, 1:1–69. doi: 10.1007/978-3-319-90913-4_17-1. 2021.

ROHN, R. & ROSLER, O. **Novas ocorrências de *Glossopteris* na Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná, Permiano superior)**. Boletim IG-USP. Instituto de Geociências, 7:101–125, 1989.

SPIEKERMANN, R.; JASPER, A.; GUERRA-SOMMER, M.; RICARDI-BRANCO, F.S.; DE FARIA, R.S.; UHL, D. **Permian Lycopsids from Brazil**. Iannuzzi, R., Rosler, R., Kunzmann, L. (eds.). Brazilian Paleofloras. 1 Ed. Springer Nature Switzerland, 1:1–29. doi: 10.1007/978-3-319-90913-4_17-1. 2021.

TYBUSCH, G.P. **Análise taxônomica de tipos foliares de *Glossopterídeas* em depósitos do Permiano inferior da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul: *Rubidgea* spp., *Gangamopteris* spp. *Glossopteris occidentalis*, *G. browniana***. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre – RS. 2005.

YIN, H.; FENG, Q.; LAI, X.; BAUD, A. & TONG, J. **The protracted Permo-Triassic crisis and multi-episode extinction around the Permian–Triassic boundary**. Global and Planetary Change, 55:1-20, 2007. DOI:10.1016/j.gloplacha.2006.06.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818106001354>. Acesso em: 20 de junho de 2021.