

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**NOVAS FORMAS PECOPTERÍDEAS DA FORMAÇÃO RIO
BONITO, PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ**

FERNANDA PICOLI ZARDO

ORIENTADOR – Prof. Dr. Roberto Iannuzzi

Porto Alegre, 2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**NOVAS FORMAS PECOPTERÍDEAS DA FORMAÇÃO RIO
BONITO, PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ**

FERNANDA PICOLI ZARDO

ORIENTADOR – Prof. Dr. Roberto Iannuzzi

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Tânia Lindner Dutra – Departamento de Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Rosemarie Rohn – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista

Dr. Daiana Boardman – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestra em Ciências.

Porto Alegre, 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Zardo, Fernanda Picoli

Novas formas pectopterídeas da Formação Rio Bonito, Permiano Inferior da Bacia do Paraná . / Fernanda Picoli Zardo. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2020.
[80 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2020.

Orientador: Roberto Iannuzzi

1. Asterotheca. 2. Pectopteris. 3. Bacia do Paraná. 4. Santa Catarina. 5. Formação Rio Bonito I. Título.

CDU 561

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Miriam Alves

CRB 10/1947

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

DEDICATÓRIA

À Cristine Trevisan e à Thièrs Wilberger

“I was a seed again. I was a fern in the swamp. I was coal”.

Denise Levertov,

A Tree Telling of Orpheus

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Dr. Roberto Iannuzzi por sempre me mostrar o melhor caminho a ser seguido, por me oportunizar aprender Paleobotânica com amostras muito interessantes, pela paciência em explicar as dúvidas (foram muitas), pela confiança, pelos aprendizados e amizade.

À Dr. Esther Pinheiro pela disponibilidade em auxiliar, principalmente nos momentos finais da elaboração do artigo e da dissertação, contribuindo de maneira essencial à finalização dos textos, pela amizade e aprendizados.

Aos amigos do Laboratório de Paleobotânica da UFRGS, Domingas Conceição, Esther Pinheiro, Guilherme Roesler, João Ricetti, Rodrigo Neregato, Tatiana Bardola, Thamiris dos Santos, William Gobo, William Matsumura, Giuliano Viegas, Mário Esperança Júnior e Raul Santos por sempre me ajudarem quando precisei, pela convivência e pela amizade. Especialmente, agradeço à Domingas, ao Mário, à Thamiris e à Esther pelo auxílio nos momentos de finalização do artigo e da dissertação, pela paciência e disponibilidade em me ajudar sempre.

À professora Dr. Rosemarie Rohn (UNESP) com quem muito aprendi e me correspondi por inúmeros e-mails, por toda atenção e aprendizados recebidos durante nossas discussões para o capítulo de um livro e para o presente trabalho, fundamentais ao enriquecimento do meu conhecimento, e pela amizade.

Às pessoas que coletaram em campo as amostras estudadas neste trabalho (Prof. Dr. Roberto Iannuzzi, Prof. Dr. Oscar Rösler (in memoriam), Cristian Neilor Ceron e Guilherme Roesler) e que também auxiliaram em parte da organização das amostras no laboratório.

Ao fotógrafo do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia (DPE) da UFRGS, Luiz Flávio Pereira Lopes, pelas excelentes fotografias obtidas, pela dedicação, paciência e disponibilidade sempre em registrar o material aqui apresentado depositado na UFRGS.

Ao técnico Geri Teseu Pfeiff (Oficina de ótica da UFRGS) pela atenção e auxílio sempre que foi necessário consertar a fonte de iluminação.

À Ivone Cardoso Gonzales (técnica de laboratório) do Laboratório de Paleontologia Sistemática do Instituto de Geociências – USP pelo precioso trabalho de localizar as amostras estudadas pelo Prof. Dr. Oscar Rösler em sua tese, fundamentais para as comparações das amostras aqui tratadas.

À bibliotecária da Biblioteca de Geociências da USP, Maristela Prestes Severino, por auxiliar na localização de um importante trabalho antigo.

À Profa. Dra. Tânia Lindner Dutra, por me apresentar a Paleontologia antes de eu chegar no Mestrado e explicar tudo de maneira instigante, por sempre me auxiliar nas dúvidas, pela confiança, incentivo, amizade e por me inspirar a sempre seguir adiante.

À Thièrs Wilberger, por ter me mostrado as plantas sempre de maneira interessante, ainda na graduação, e por ter me inspirado a estudá-las, por todos os aprendizados, paciência em explicar e amizade.

À Cristine Trevisan, por ter me apresentado as pteridófitas (samambaias) e que, por isso, segui agora no Mestrado com esse tema, pelo incentivo em buscar conhecimento sempre e pela amizade.

A todos os amigos do Laboratório de História da Vida e da Terra (Lavigea) - UNISINOS, lugar que sempre me inspirou, em especial à laboratorista Gabriela Corrêa, à Msc. Marta Kerkhoff e à Michele Gonçalves por me auxiliarem sempre que necessário, assim como os professores Dr. Renata Guimarães Netto e Dr. Rodrigo Scalise Horodyski pelo apoio e incentivo.

Aos professores do Instituto de Geociências e do Instituto de Botânica da UFRGS que tive oportunidade de ter aula, pelos aprendizados adquiridos que foram importantes para o presente estudo e formação.

Às bibliotecárias e funcionários da Biblioteca do Instituto de Geociências da UFRGS por sempre me auxiliarem de maneira atenciosa quando precisei.

Aos funcionários da Secretaria do Instituto de Geociências da UFRGS e aos outros funcionários pelo auxílio e atenção dispensados sempre que necessário.

Aos pais João Alberto Zardo e Leonilda Picoli Zardo e demais familiares pelo apoio e incentivo durante os vários momentos da minha vida, em especial nessa fase, pela compreensão e pela força passada.

Ao Instituto de Geociências da UFRGS pela infraestrutura disponibilizada para a realização do trabalho e demais atividades desenvolvidas durante o período do Mestrado.

RESUMO

Duas novas espécies de pecopterídeas *Asterotheca roesleri* sp. nov. e *Pecopteris itanemaensis* sp. nov. são descritas baseadas no material fossilífero recuperado do afloramento Itanema II, uma nova localidade no estado de Santa Catarina, mas também do afloramento de São João do Triunfo, no estado do Paraná, ambos pertencendo à Formação Rio Bonito (Permiano Inferior, Bacia do Paraná, Brasil). A associação entre esses táxons e a significativa similaridade morfológica entre eles permite considerá-los parte de um mesmo táxon natural, sendo as porções estéreis e férteis constituintes da mesma planta. Esses resultados expandem o conhecimento sobre as samambaias pecopterídeas do Permiano Inferior da Bacia do Paraná e melhoram a correlação entre as sequências da Formação Rio Bonito dos estados do Paraná e de Santa Catarina. Aliado ao rearranjo do posicionamento cronoestratigráfico de algumas dessas sequências sedimentares fornecidas por novas idades radiométricas de U-Pb recentemente obtidas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, as samambaias pecopterídeas estão sendo propostas como guias-fósseis para a parte superior da Formação Rio Bonito.

Palavras-chave: *Asterotheca*, *Pecopteris*, Bacia do Paraná, Santa Catarina, Formação Rio Bonito.

ABSTRACT

Two new pecopterid species *Asterotheca roesleri* sp. nov. and *Pecopteris itanemaensis* sp. nov. are proposed based on fossiliferous material recovered from Itanema II outcrop, a new locality in Santa Catarina state, and from São João do Triunfo outcrop, in Paraná state, both belonging to the Rio Bonito Formation (Lower Permian, Paraná Basin, Brazil). The association between these taxa and the significant morphological similarity enable considered as the same natural taxa, with sterile and fertile portions constituents of the same plant. These results expands the knowledge about the pecopterid ferns of the early Permian of the Paraná Basin improving the correlation between the sequences of Rio Bonito Formation of Paraná and Santa Catarina states. Allied to the rearrangement of chronostratigraphic positioning of some of these sedimentary sequences provided by new U-Pb radiometric ages recently obtained in Rio Grande do Sul, Santa Catarina and Paraná states, the pecopterid ferns are being proposed as guide fossils for upper part of the Rio Bonito Formation.

Key words: *Asterotheca*, *Pecopteris*, Paraná Basin, Santa Catarina, Rio Bonito Formation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perfis geológicos das localidades estudadas.	15
--	----

SUMÁRIO

Parte I

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	8
3. ESTADO DA ARTE: PECOPTERÍDEAS NA BACIA DO PARANÁ	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1. Contexto geológico das áreas de estudo	12
4.2. Afloramento de São João do Triunfo	12
4.3. Afloramento de Itanema II	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS	21

Parte II

ARTIGO	26
---------------	----

Parte III

COMPLEMENTOS	68
Anexo A: Carta de submissão do artigo	68
Anexo B: Resumo II Sapigeo	69
Anexo C: Resumo PaleoRS 2018	71
Anexo D: Submissão de capítulo	73

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado está estruturada em um artigo submetido em periódico classificado nos estratos Qualis-CAPES A3. A sua organização compreende as seguintes partes principais:

TEXTO INTEGRADOR:

Texto Integrador composto pelos seguintes capítulos: a) introdução com a formulação do problema de investigação e a hipótese; b) objetivos da pesquisa; c) o estado da arte do tema da pesquisa; d) os materiais e métodos utilizados; e) o contexto geológico da área (se houver) ou do objeto de estudo; f) resumo dos principais resultados obtidos, interpretações desenvolvidas nos artigos e discussão integradora dos resultados; g) conclusões; h) referências bibliográficas.

ARTIGO:

Corpo Principal da Dissertação/Tese, constituído do(s) artigo(s) conforme os itens 1.1; 1.2 e/ou 1.3 da norma 118.

COMPLEMENTOS:

Anexos, compreendendo: tabelas, cálculos, gráficos (figuras, diagramas, mapas, seções) e fotografias, os quais devem ser referidos no Texto Integrador, identificados por letras maiúsculas, consecutivas, e pelos respectivos títulos. Também poderão ser inseridos nos Anexos resumos, artigos publicados em eventos e outros artigos em que o mestrando/ doutorando seja primeiro autor ou coautor, produzidos durante o Curso de Mestrado/Doutorado.

PARTE I

1. INTRODUÇÃO

As frondes são folhas características de pteridófitas e classificadas como megáfilas compostas, pinadas ou pinatífidas (Bower, 1923). Além deste grupo, folhagens ostentando essas particularidades são frequentemente encontradas em plantas com semente fósseis e modernas, pertencentes aos grupos das pteridospermas, cicas, cicadeoideas e angiospermas (Gifford & Foster, 1996). As subdivisões das frondes compostas de pteridófitas são conhecidas por pinas, quando o segmento primário da lâmina é terminal, e por pínulas, quando as pinas são divididas nestas unidades fotossintetizantes terminais menores que são segmentos secundários, podendo ocorrer mais divisões. Dessa maneira, as frondes podem ser chamadas de pinadas, bipinadas ou tripinadas e, assim, sucessivamente (Tryon, 1960; Gifford & Foster, 1996).

Determinadas folhas de plantas, como exposto acima, apresentam caracteres semelhantes e foram agrupadas por Nathorst em “Pteridophylla” (pteridófila), reunindo folhas fósseis que possuíam semelhanças com frondes de pteridófitas, desconsiderando, porém, a qual grupo pertenciam (Boureau & Doubinger, 1975). Dessa maneira, “Pteridophylla” é considerado um grupo artificial apresentando semelhança morfológica quanto à estruturação das folhas, mas com distanciamento filogenético entre seus componentes (Vieira, 2004).

No Carbonífero, as Pteridophylla alcançaram um máximo de ocorrência, sendo um período que ficou conhecido como “A Era das Samambaias” (Arnold, 1947). Até o começo do Século XX, acreditava-se que somente pteridófitas produziam folhas do tipo fronde neste intervalo de tempo. Contudo, com a descoberta das pteridospermas, constatou-se que diversas plantas classificadas como pteridófitas por causas de suas frondes não pertenciam a este grupo, sendo incluídas a partir disso entre as pteridospermas (Vieira, 2004).

O tipo pecopterídeo de folhagem, entre as diversas formas de Pteridophylla, é o de maior ocorrência, seguido do tipo esfenopterídeo. Isso demonstra a expressividade das pecopterídeas no registro paleontológico. Surgem no Serpukhoviano (Boureau & Doubinger, 1975), alcançando maior abundância no Pensilvaniano médio e tardio e Permiano precoce (Arnold, 1947), sendo encontradas até mesmo entre as formas atuais (Bower, 1923). As pteridófitas e pteridospermas

possuíram marcante presença no Neopaleozoico, sendo que a partir do final do Mesozoico somente as pteridófitas seguiram presentes (Vieira, 2004).

As pecopterídeas formam um grupo artificial de plantas demonstrando que uma ambiguidade taxonômica é identificada no Neopaleozoico. São incluídas, portanto, no mesmo grupo pelo fato de possuírem folhas análogas, sem apresentar uma relação de parentesco. Dessa maneira, são classificadas conforme um sistema alternativo de taxonomia, a *Parataxonomia*, sendo influenciado pelo estágio ontogenético apresentado. Isso resulta na classificação das frondes estéreis em gêneros e epítetos diferentes das frondes férteis, ainda que apresente o mesmo tipo de folhagem (Vieira, 2004). Além das características vegetativas auxiliarem na identificação das formas, as estruturas reprodutivas que produzem esporos (esporângios, sinângios, etc.), são extremamente úteis para a diferenciação de táxons e consideradas como os principais caracteres distintivos em plantas fósseis e atuais (Bower, 1923).

A preservação das folhas e estruturas férteis de pecopterídeas encontradas na Bacia do Paraná compreendem mais comumente compressões/impressões e, com menor frequência, permineralizações. Entretanto, em geral, estruturas reprodutivas de plantas e de pecopterídeas apresentam pouca frequência no registro fóssil (Iannuzzi & Vieira, 2005). Alguns fatores isoladamente ou em conjunto atuam influenciando essa frequência: (i) estágio ontogenético em que se encontravam as plantas quando ocorreu a fossilização, determinando a presença ou não destas estruturas, (ii) dificuldade de preservação destas por possuírem tecidos delicados, e (iii) viabilidade da coleta das amostras fossilíferas e recuperação destas em estágio fértil.

Os caracteres morfológicos e anatômicos dos sinângios, quando presentes, podem fornecer importantes informações sobre o funcionamento do mecanismo de deiscência destes que resulta na liberação dos esporos. A diversidade e composição de distintas formas de sinângios podem auxiliar na elucidação de questões evolutivas do grupo (Rothwel *et al.*, 2018). Além disso, é importante ressaltar que determinados táxons podem sofrer uma “inflação” ou “deflação” devido à semelhança que suas porções vegetativas apresentam, muitas vezes podendo ser agrupados em um mesmo táxon, o que, provavelmente, não ocorreria se os sinângios estivessem presentes. Mesmo na presença dessas estruturas, ainda seria possível a ocorrência de agrupar morfo-espécies diferentes em um mesmo clado (Meyen, 1987; Vieira, 2004).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente estudo possui o objetivo de realizar a descrição e classificação taxonômica de frondes de pteridófitas fósseis inéditas coletadas nos afloramentos Itanema II, em Santa Catarina, e São João do Triunfo, no Paraná, ambos pertencentes à Formação Rio Bonito, Permiano Inferior da Bacia do Paraná.

2.2. Objetivos específicos

- Comparar as formas encontradas com outras de pteridófilas semelhantes ocorrentes na Bacia do Paraná, na porção encontrada no Brasil, assim como em bacias da Argentina e outros países quando possível;
- Ampliar o registro de ocorrências de pteridófilas fósseis para o Permiano Inferior da Bacia do Paraná;
- Inferir a amplitude geográfica e estratigráfica dos táxons estudados.

3. ESTADO DA ARTE: PECOPTERÍDEAS NA BACIA DO PARANÁ

No Permiano ocorriam associações florísticas muito particulares distribuídas no Hemisfério Sul, denominadas como “Flora *Glossopteris*” por Neumay. Esta se diferenciava de outra flora que vicejava no Hemisfério Norte, possuindo elementos distintos, mas considerada parcialmente contemporânea à Flora *Glossopteris*. A distribuição desta flora do Hemisfério Sul abrangia os terrenos da Índia, Austrália, África do Sul, América do Sul e Antártica (Arber, 1905; Wnuk, 1996).

Biomas de climas temperados úmidos e frios caracterizam a Flora *Glossopteris* no Hemisfério Sul (Wnuk, 1996), sendo que na América do Sul durante o Paleozoico tardio há uma melhora no clima, após o período glacial do Pensilvaniano (Limarino *et al.*, 2014). Essa condição também é observada na Bacia do Paraná durante o Cisuraliano (Permiano Inferior), na porção leste onde o clima era úmido permitindo a geração das camadas de carvão e argilitos ricos em matéria orgânica da Formação Rio Bonito (Limarino *et al.*, 2014).

Na Bacia do Paraná, a Flora *Glossopteris* é caracterizada pela presença de restos de licófitas (*Brasilodendron*, *Cyclodendron* sp. e *Lycopodites*), esfenófitas (*Annularia*, *Giridia*, *Paracalamites*, *Phyllothea*, *Notocalamites* e *Sphenophyllum*), frondes estéreis e férteis de samambaias (*Sphenopteris*, *Pecopteris*, *Asterotheca*, *Neomariopteris* e *Ponsotheca*), frondes de pteridófitas (*Notoangaridium*, *Botrychiopsis*, *Chiropteris*, *Palmatophyllites* sp. e *Rhodeopteridium*), glossopterídeas (*Glossopteris* spp. e *Gangamopteris* spp.), muito abundantes, e suas estruturas reprodutivas (*Arberia*, *Arberiosis*, *Ottokaria* e *Plumstediella*), bem como folhas de ginkgoaleanas (*Ginkgophytopsis* sp.) e cordaitaleanas (*Noeggerathiopsis*, *Cordaites* e *Kawizophyllum* sp.), ramos folhosos de coníferas (*Brasilocladus*, *Buriadia*, *Coricladus*, *Paranocladus*) e sementes (*Cordaicarpus*, *Samaropsis*, *Cornucarpus* e *Paranospermum*) (Lundqvist, 1919; Iannuzzi, 2010; Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2016).

As folhagens de pteridófitas (samambaias) presentes na Bacia do Paraná no Permiano incluem os táxons *Pecopteris paranaensis*, *P. pedrasica*, *P. taguaiensis*, *P. dolianitii*, *P. esperancensis*, *P. bracingaensis*, *P. cadeadensis* e outras formas relacionadas à *Pecopteris* identificadas a nível genérico, e ainda *Sphenopteris lobifolia*, *Ponsotheca roesleri* e *Dizeugotheca bortoluzzii* (Read, 1941; Cazzulo-Klepzig, 1978; Bernardes-de-Oliveira, 1980; Rohn & Rösler, 1986; Vieira *et al.*, 2007).

Os primeiros registros de pecopterídeas na Bacia do Paraná foram realizados por Lundqvist (1919) provenientes de amostras da região de Ibaí, no Paraná (Formação Rio Bonito). Após Lundqvist, as pecopterídeas permianas do Gondwana presentes na Bacia do Paraná e preservadas como compressão/impressão foram estudadas por vários autores (Read, 1941; Rigby, 1968; Rösler, 1972; Bernardes-de-Oliveira, 1977; Cazzulo-Klepzig, 1978; Rösler, 1978a; Rösler, 1979; Bernardes-de-Oliveira, 1980; Cazzulo-Klepzig & Correia, 1981; Rohn & Rösler, 1986; Vieira & Iannuzzi, 2000a; Vieira & Iannuzzi, 2000b; Vieira *et al.*, 2007), além de revisões abordando essas e outras formas desta bacia (Ricardi-Branco, 1997: p. 38-40; Iannuzzi, 2010: p. 239).

Importante ressaltar o registro de frondes e pinas permineralizadas de pecopterídeas na Formação Corumbataí (Bacia do Paraná), no Estado de São Paulo, para o Permiano incluindo, por exemplo, *P. taguaiensis* e outros exemplares de *Pecopteris* classificados em nível de gênero (Tavares, 2007; Tavares & Rohn, 2009). Também foram encontrados caules e ramos permineralizados nesta mesma unidade, em municípios do Estado de São Paulo, os quais foram classificados como *Tietea* e *Psaronius* (Tavares *et al.*, 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O material estudado foi coletado em duas localidades do sul do Brasil. O afloramento Itanema II, situado no município de Urussanga, sul do Estado de Santa Catarina, que integra a região carbonífera. A outra localidade, o afloramento de São João do Triunfo, está localizada no sul do Estado do Paraná.

As amostras coletadas nos afloramentos de Itanema II e São João do Triunfo estão armazenadas com as iniciais MP-Pb, na Coleção de Paleobotânica do Museu de Paleontologia (MP) do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia (DPE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada em Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O material estudado já estava depositado nas dependências da UFRGS quando iniciado o presente estudo e foi coletado pelo Dr. Roberto Iannuzzi, pelo Msc. Guilherme Roesler e por Cristian N. Ceron e em distintas campanhas de campo.

Além do material armazenado na UFRGS, amostras identificadas como *Asterotheca derbyi* por Oscar Rösler em sua tese (Rösler, 1972) e depositadas na coleção de paleobotânica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), município de São Paulo, foram examinadas e fotografadas pelo prof. Dr. Roberto Iannuzzi. Foram utilizadas para comparação com o material estudado e estão identificadas com as iniciais GP/3T ou GP/3E. As amostras do material tipo de *Pecopteris paranaensis* descritas por Read (1941) e depositadas no National Museum of Natural History (Washington, DC) também foram analisadas e registradas pelo prof. Dr. Roberto Iannuzzi para comparação com as amostras aqui estudadas e possuem as iniciais USNM.

Os equipamentos e recursos utilizados para auxiliar na análise e identificação dos fósseis incluem estereomicroscópio binocular com iluminação através de fonte de luz com fibra ótica, projetada em vários ângulos para evidenciar detalhes da venação e outras características. Com o objetivo de ressaltar as características das compressões/impressões, fotografias gerais e de detalhe dos espécimes depositados na UFRGS foram obtidas no Laboratório de Fotografia do DPE/UFRGS, com câmera digital Canon EOS T3i e lentes objetivas Sigma DG Macro 70 mm. As ilustrações foram realizadas com o software Corel Draw 2017 e as medidas obtidas com ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD) a partir das fotografias.

A preservação dos fósseis permitiu a análise das seguintes características evidenciadas nas compressões/impressões sendo úteis para a distinção de espécies

que ocorrem no Permo-Carbonífero: padrão de venação, forma da pínula, decorrência da veia mediana da pínula, modo de inserção da base da pínula, número de esporângios por sinângios e forma dos esporângios (segundo Gastaldo & Matten, 1978; Rohn & Rösler, 1986; Cleal, 2015). Os padrões morfométricos vegetativos foram medidos conforme definido por Rohn & Rösler (1986), além das estruturas reprodutivas (sinângios).

4.1. Contexto geológico das áreas de estudo

As amostras estudadas no presente trabalho são provenientes de localidades inseridas na Bacia do Paraná que compreende a porção oriental média da América do Sul, com aproximadamente 1.600.000 km² de área, está distribuída na Argentina, no Uruguai, no Paraguai e no Brasil. Neste último país, a área ocupada por essa bacia sedimentar intracratônica abrange 1.000.000 km² (Petri & Fúlfaro, 1983; Milani *et al.*, 2007).

Os afloramentos abordados pertencem à unidade litoestratigráfica Formação Rio Bonito, do Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão (Holz *et al.*, 2010). Essa unidade é limitada abaixo pela Formação Taciba (topo do Grupo Itararé) e acima pela Formação Palermo (Grupo Guatá). A Formação Taciba é caracterizada por sedimentação glacial e sedimentos depositados durante a fase de deglaciação que constituem depósitos continentais e glácio-marinhos intercalados com depósitos marinhos, flúvio-deltáicos e lacustres/lagunares. A Formação Palermo é composta por fácies inter- e supra-máres relacionadas a um provável mar epicontinental com condições marinhas restritas (Iannuzzi, 2010).

Já a Formação Rio Bonito é dividida em três membros nos estados do Paraná e de Santa Catarina por Schneider *et al.* (1974), a saber, em ordem estratigráfica: Membro Triunfo, com arenitos costeiros e fluviais, e pelitos e camadas de carvões secundários; Membro Paraguaçu, com argilitos marinhos e arenitos finos, e o Membro Siderópolis, exibindo arenitos fluviais e costeiros, e pelitos carbonosos e camadas de carvões.

4.2. Afloramento de São João do Triunfo

As localidades com a flora de São João do Triunfo integram a parte superior do Membro Triunfo e são classificadas como as que contém a flora mais antiga da Formação Rio Bonito (Iannuzzi, 2010).

Nos afloramentos dessa região predominam maciços de 2 a 4 m de espessura. Camadas de carvão com pouca espessura, de 1 a 10 cm, ocorrem na base da sucessão de lamito siltoso. Os fósseis de plantas estão na sucessão após as camadas de carvão consistindo, da base ao topo, em lama carbonácea, em silte cinza-rosado e em arenito de grão fino (Rösler, 1972, 1979) (Fig. 1A).

Os carvões e as plantas fósseis foram depositados em ambientes interpretados por Rösler (1972, 1979) como um ambiente de baixa energia ocorrendo em uma planície de inundação de um sistema de rio meandrante. Contudo, no nordeste do Estado do Paraná, em um estudo da Formação Rio Bonito desenvolvido por Zacharias & Assine (2005), essa porção foi compreendida como sendo estuários preenchidos em vales incisos.

O primeiro estudo com plantas fósseis de São João do Triunfo foi realizado por Medeiros (1971). Após, outros estudos com novos afloramentos e descrições de plantas foram realizados por Rösler (1972, 1974, 1978b, 1979) contribuindo para uma melhor compreensão da flora de São João do Triunfo. Esses trabalhos reportaram a presença de frondes de pecopterídeas (*Asterotheca* spp. e *Pecopteris* spp.) e folhas de esfenófitas (*Sphenophyllum brasiliensis* e *Annularia* spp.), folhas de glossopterídeas (*Glossopteris communis*) e raros ramos de licófitas (*Brasilodendron pedroanum*). Além destas, *Pecopteris pedrasica* foi identificada por Vieira *et al.* (2007).

4.3. Afloramento de Itanema II

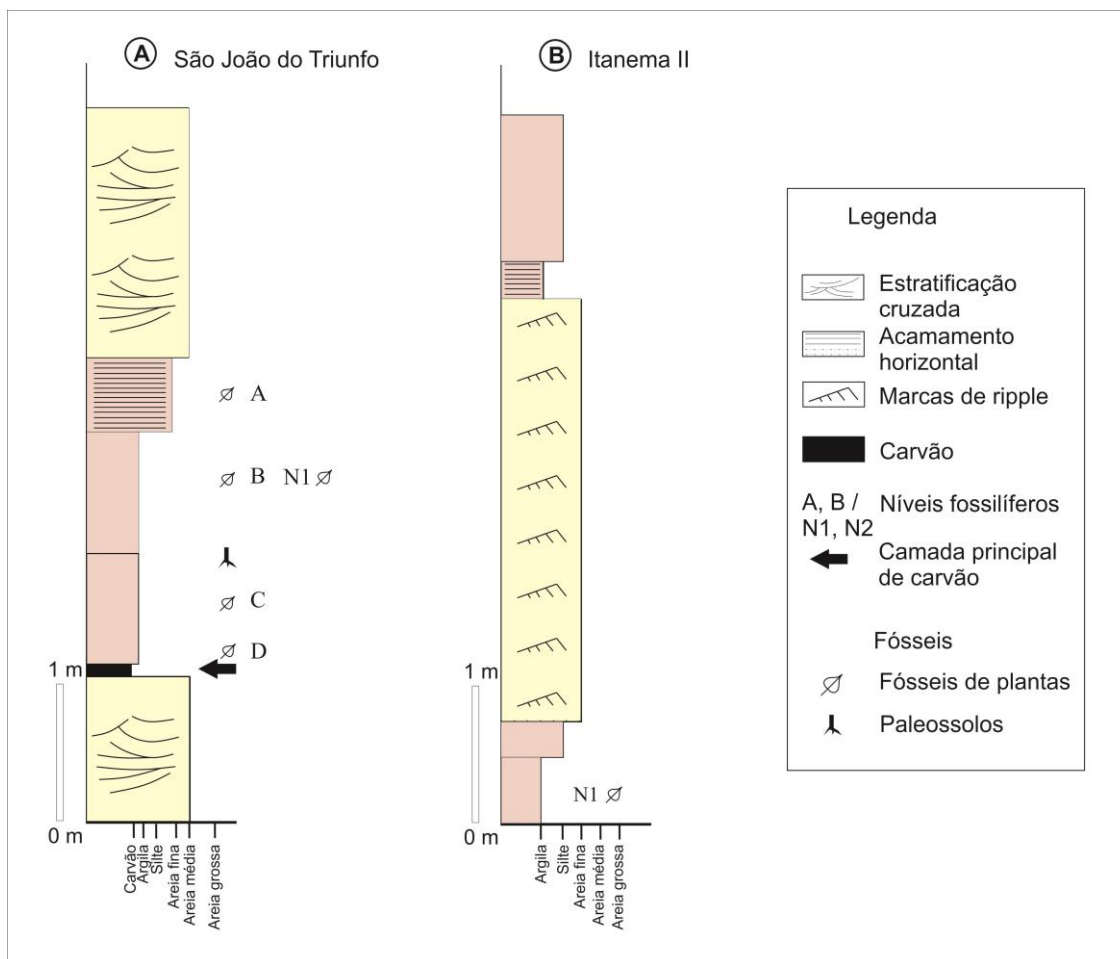
O afloramento de Itanema II foi recentemente descrito e está estratigraficamente posicionado na camada de carvão Treviso, acima da camada Barro Branco, esta última explorada comercialmente no sul do Estado de Santa Catarina. Essas camadas integram o Membro Siderópolis, terço superior da Formação Rio Bonito, e se encontram na posição mais elevada da sucessão florística da unidade (Iannuzzi, 2010).

A camada fossilífera é formada na base por 40 cm de sedimentos cinza-escuros a pretos e no topo por 10 cm de sedimentos apresentando coloração marrom clara, totalizando 50 cm de argilito fértil. Os últimos 10 cm revelaram a

preservação de várias plantas fósseis, algumas já foram estudadas (Marques-de-Souza & Iannuzzi, 2016) ou outras ainda estão em análise, incluindo: caules de licófitas; caules, ramos foliares, estruturas reprodutivas e folhas de esfenófitas; folhas e estruturas reprodutivas de glossopterídeas (e.g.: *Glossopteris communis*, *Glossopteris* cf. *G. angustifolia*, *Glossopteris* cf. *G. indica*, *Glossopteris* cf. *G. ampla*, *Gangamopteris* cf. *G. obovata*, *Gangamopteris* cf. *G. major*, *Gangamopteris* cf. *G. revoluta* e *Ottokaria*); folhas de cordaitaleanas e, possivelmente, de ginkgoaleanas; ramos de coníferas; sementes; frondes estéreis e férteis de samambaias (Marques-de-Souza & Iannuzzi, 2016). Também foram identificados em vários destes grupos de plantas registros de interações com insetos.

Acima da camada fossilífera, ocorrem 25 cm de silte e sobreposta a essa camada há 2,5 m de arenitos finos com estruturas do tipo onda e laminações cavalgantes. Argilitos com estratificação plano-paralela ocorrem acima, seguidos por uma camada de siltito finalizando a sucessão (Fig. 1B). As litologias representam possivelmente depósitos do tipo lacustre/lagunar na base, sobrepostos por camadas de arenito/siltito e arenitos de granulometria fina, refletindo uma rápida transgressão ou afogamento, com o estabelecimento de uma planície de maré, devido a um aumento gradual do nível do mar em direção ao topo da sucessão indicando um ambiente sedimentar de transição (Marques-de-Souza & Iannuzzi, 2016).

Figura 1. Perfis geológicos das localidades estudadas. A) Perfil de São João do Triunfo (adaptado de Milani, 1997); B) Perfil de Itanema II (adaptado de Marques-de-Souza & Iannuzzi, 2016).



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo aborda aspectos sobre a morfologia, taxonomia e sistemática de frondes estéreis e férteis de pecopterídeas, além de considerações sobre a distribuição espacial e estratigráfica. As características das formas analisadas permitiu a classificação destas em duas espécies novas, i.e. *Asterotheca roesleri* sp. nov. e *Pecopteris itanemaensis* sp. nov., ambas registradas nos afloramentos de Itanema II, em Santa Catarina, e São João do Triunfo, no Paraná.

A. roesleri apresenta frondes ao menos bipinadas, com ráquis conspícuo e estriado. As pinas são imparipinadas, com margens paralelas até próximo ao ápice, onde este se torna arredondado. As pínulas apresentam formato digitiforme, com toda a base conectada ao ráquis. A veia média é decorrente, seguindo até o ápice da pínula onde se divide. As veias laterais (ou secundárias) se dividem muito próximas da veia média, sendo raro um ramo secundário acroscópico se dividir. Os sinângios estão preservados em vista lateral ou como rosetas, vistos de cima (em planta), e são sésseis. Os esporângios exibem estrias longitudinais, apresentando até mesmo certo relevo como cristas, em alguns espécimes. Os esporângios maduros são livres do ápice à base onde são unidos por uma região central, ocorrendo de 4 a 5 esporângios por sinângio.

Os espécimes de *A. roesleri* provenientes de Itanema II e São João do Triunfo exibem características de formato das pinas e pínulas, modo de anexo da base da pínula, padrão de venação e estruturas reprodutivas (dimensões, formatos e ornamentações dos sinângios e esporângios) muito semelhantes permitindo o agrupamento no mesmo táxon dessas formas. Os espécimes registrados nessas duas localidades são morfologicamente muito parecidos com os espécimes denominados como *Asterotheca derbyi* por Oscar Rösler em sua tese (Rösler, 1972).

Oscar Rösler (1972) erigiu *A. derbyi* a partir de fragmentos de frondes férteis procedentes das localidades de São João do Triunfo e Cambuí, no Estado do Paraná, em estratos da Formação Rio Bonito. Ele descreveu e propôs uma diagnose para esse táxon e mostrou fotos de alguns espécimes do material tipo. O holótipo não foi ilustrado e a diagnose específica ou uma descrição não foram publicadas em um periódico especializado, somente em sua tese inédita (Rösler, 1972). Analisando essas circunstâncias, e considerando a proposta de Zijlstra (2014) e o Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Fungos e Plantas (Código de Shenzhen) (Art. 9.15, 40.4 e 43.2) (Turland *et al.*, 2018), *A. derbyi* deve ser classificada como

um *nomem nudum*. Assim, *A. roesleri* sp. nov. erigida aqui inclui os espécimes identificados por Rösler como *A. derbyi* devido a identidade morfológica apresentada com os aqui estudados, provenientes de Itanema II e São João do Triunfo. Deve-se ressaltar que o material de São João do Triunfo analisado neste estudo proveio do mesmo horizonte fossilífero do qual Rösler obteve seus espécimes de *A. derbyi*.

A. roesleri possui semelhanças com *P. paranaensis* (Read, 1941), *Pecopteris* sp. I e *Asterotheca* sp. I (em Vieira & Iannuzzi, 2000b) que ocorrem no Brasil; e *A. piatnitzkyi* (Frenguelli, 1953), *A. frenguelli*, *A. feruglioi*, *A. anderssonii* e *A. golondrinensis* (em Archangelsky & De La Sota, 1960) que ocorrem na Argentina, diferindo de todas principalmente por apresentar estruturas reprodutivas (sinângios), formato das pínulas e/ou padrão de venação diferentes.

A outra forma abordada no presente estudo é uma nova espécie de *Pecopteris*, i.e. *P. itanemaensis* sp. nov., que tem em sua diagnose características do padrão de venação e presença de impressão de células, algo raro em fósseis de pteridófitas. O formato geral de suas pinas e pínulas, além do padrão de venação, assemelham-se muito aos de *A. roesleri*, e, portanto, ela está sendo considerada a forma correspondente estéril da fronde fértil de *A. roesleri*.

A divisão da fronde de *P. itanemaensis* sp. nov. é pelo menos bipinada, possuindo pinas um pouco rígidas; as pínulas são próximas umas das outras, inseridas no ráquis com ângulos próximos a 90° e dispostas de maneira oposta a sub oposta. Possuem formato digitiforme, veia média decorrente e espessa; veias laterais se dividindo muito próximas a veia média. Às vezes, os ramos acroscópicos da primeira divisão se dividem novamente próximos à margem. Foram identificadas impressões de células equidimensionais ou poliédricas na região interneural da pínula e sobre as veias exibindo formato retangular.

P. itanemaensis sp. nov. mostra alguma similaridade com *P. paranaensis* Read, 1941. Read (1941) descreveu *P. paranaensis* a partir de fragmentos de pinas e pínulas estéreis, baseando-se em caracteres morfológicos pobremente preservados de amostras provenientes de Cambuí, no Estado do Paraná (Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão). Essa forma também foi registrada por Rigby (1968) em Laras, Estado de São Paulo, na Formação Corumbataí, também com pouca preservação dos caracteres morfológicos. Ao analisarmos as fotos do material-tipo de *P. paranaensis*, percebeu-se que se trata de provavelmente dois ou mais morfotipos que foram incluídos sob este mesmo epíteto. Por todo esse contexto, não foi possível estabelecer uma comparação confiável entre o nosso material e o de

Read, de sorte que mantivemos o nosso, que é muito mais abundante e bem preservado, em uma espécie a parte. *P. paranaensis* mereceria um estudo mais cuidadoso no futuro para que este táxon fosse mais bem delimitado. Por fim, *P. itanemaensis* sp. nov. apresenta semelhança com formas encontradas no Brasil (e.g. *P. taguaiensis*, *P. bracatingaensis* e *P. esperancensis*), na Argentina (*A. piatnitzkyi*) e na América do Sul (*P. pedrasica*), diferenciando-se pelo padrão de venação e formato das pínulas.

A excelente conservação das impressões dos sinângios de *A. roesleri* e a diversidade de maneiras em que se encontraram preservados permitiram um estudo taxonômico com mais acurácia dessas formas. Além disso, possibilitou a identificação de diferentes estágios de maturação dos sinângios, sendo estas características ainda não apresentadas nos espécimes com afinidade a *A. roesleri* sp. nov. registrados anteriormente.

Em termos estratigráficos, os novos registros das mesmas pecopterídeas para os afloramentos de Itanema II e São João do Triunfo ampliam a correlação entre os depósitos da Formação Rio Bonito nessas áreas dos estados de Santa Catarina e Paraná. Chama a atenção que aliada a esta correlação, novas idades radiométricas U-Pb têm sugerido a modificação do arcabouço estratigráfico para as seqüências sedimentares da Formação Rio Bonito nos estados da Região Sul (Griffis *et al.* 2018, 2019; Jurigan *et al.* 2019). Com base nas datações, Griffis *et al.* (2018) indicou a existência de duas seqüências sedimentares bem definidas e separadas no tempo, a “Lower Rio Bonito Fm.” (LRB) e a “Upper Rio Bonito Fm.” (URB). A LRB teria idade Asseliana e sua ocorrência estaria restrita ao Rio Grande do Sul. A URB teria se depositado no intervalo Sakmariano precoce- Artinskiano tardio, e estaria inicialmente presente também no Rio Grande do Sul, mas recentemente foi identificada na região central de Santa Catarina (Griffis *et al.*, 2019). Dentro desse arcabouço, parece que os fetos pecopterídeos (e mesmo os esfenopterídeos) não apareceram na bacia antes do Sakmariano, estando ausentes nos estratos mais antigos do Permiano, da seqüência LRB, de idade da Asseliana, que pertencem ao Grupo Itararé, ou mesmo, à Formação Rio Bonito (Griffis *et al.*, 2018, 2019). Neste sentido, as samambaias pecopterídeas (e esfenopterídeas) podem ser úteis como fósseis-guia para correlações bioestratigráficas em toda a bacia, estabelecendo uma idade máxima Sakmariana para os depósitos que as contém. Por fim, a recente datação radiométrica da seção do “Carvão Figueira”, da Formação Rio Bonito no Paraná, obteve uma idade Artinskiana (Jurigan *et al.*, 2019),

equivalente, em parte, às idades das seções datadas para a sequência URB nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Os depósitos de Cambuí, Figueira e São João do Triunfo (de onde provém parte do nosso material) são formalmente posicionados estratigraficamente abaixo dos depósitos da região carbonífera de Criciúma (de onde provém a outra parte de nosso material), sendo os primeiros parte do Membro basal Triunfo e os últimos do Membro superior Siderópolis, desde a definição da Formação Rio Bonito por Schneider *et al.* (1974). Porém, como podemos verificar, as novas datações sugerem que esses depósitos são se não totalmente, parcialmente cronocorrelatos, tendo sido gerados na sequência superior URB de Griffis *et al.* (2018). A presença dos fetos pecopterídeos corrobora essa tese, bem como os resultados aqui obtidos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do material de frondes fósseis estudado possibilitou identificar uma nova espécie *A. roesleri* sp. nov., a partir de um conjunto de amostras férteis, caracterizadas pela presença de sinângios bem preservados. O outro conjunto de frondes que não apresentaram sinângios, portanto consideradas estéreis, foi classificado como *P. itanemaensis* sp. nov., caracterizado pelos caracteres de pínula e principalmente venação, assim como pelas feições epidérmicas presentes nas compressões/impressões. Essas amostras foram descritas formalmente, sendo encaminhadas para publicação em periódico científico.

O material estudado proveio de dois afloramentos, de Itanema II, em Santa Catarina, e São João do Triunfo, no Paraná, ambos pertencentes à Formação Rio Bonito. Deste modo, a co-ocorrência das duas novas espécies nos referidos afloramentos ampliou a correlação entre os depósitos do sul de Santa Catarina e centro-sul do Paraná. Datações radiométricas de seções correlatas, em áreas relativamente próximas, sugerem que realmente as seções onde se encontram os materiais estudados possam ser cronocorrelatas. Os resultados aqui obtidos corroboram essa tese, mas precisam de maior investigação futura. Como consequência, os fetos pecopterídeos poderiam ser utilizados como fósseis-guia através da bacia, porém a escassez de dados paleobotânicos, especialmente em relação às associações florísticas paranaenses, dificulta o entendimento da evolução florística e o uso das plantas na bioestratigrafia. Portanto, estudos como os propostos aqui são necessários à ampliação do conhecimento paleobotânico.

REFERÊNCIAS

- Arber, E.A.N. 1905. *Catalogue of Fossil Plants of the Glossopteris Flora in the Department of Geology, British Museum (Natural History)*. London, Darling & Son Ltd, 255 p.
- Archangelsky, S. & De La Sota, E. 1960. Contribucion al conocimiento de las filices pérmicas de Patagonia Extraandina. *Acta Geologica Lilloana*, III:85–126.
- Arnold, C.A. 1947. *An introduction to paleobotany*. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 431 p.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1980. Nouveau genre néomarioptériden fertile de la Flora à *Glossopteris* du Bassin de Paraná au Brésil. *Boletim do Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo (IG-USP)*, 11:31–189.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1977. *Taoflora Eogondvânica da camada Irapuá, Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão), SC*. São Paulo, 301 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Mune, S.E., Garcia, J.M., Iannuzzi, R., Guerra-Sommer, M., Jasper, A., Kavalí, P.S., Shivanna, M. & Pereira, K.G. 2016. The Artinskian Siderópolis Member macroflora, Rio Bonito Formation and its stratigraphical correlation with other early Permian macrofloras of Paraná Basin, Brazil. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, 16:65–85.
- Boureau, E. & Doubinger, J. 1975. *Traité de paléobotanique: Filicophyta. Tome IV. Fasc. 2. Pteridophylla (1ª parte)*. Paris, Masson et Cie., 768 p.
- Bower, F.O. 1923. *The ferns (Filicales): Treated Comparatively with a View to Their Natural Classification, vol. 1, Analytical Examination of the Criteria of Comparison*. London, Cambridge University Press, 359 p.
- Cazzulo-Klepzig, M. 1978. Estudo da Taoflórua do Membro Morro Pelado na Sua Localidade-tipo. *Pesquisas em Geociências*, 11:225–303.
- Cazzulo-Klepzig, M. & Correia, N. 1981. Contribuição ao estudo da taoflora permiana no Membro Serrinha na Serra do Cadeado, Estado do Paraná, Brasil. *In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 1981, Porto Alegre. Anais....* Porto Alegre, pp. 233-247.
- Cleal, C.J. 2015. The generic taxonomy of Pennsylvanian age marattialean fern frond adpressions. *Palaeontographica (Abt. B)*, 292:1-21.
- Frenguelli, J. 1953. Las pecopteroides del Pérmico del Chubut. Universidad Nacional de Eva Perón, Facultad de Ciencias Naturales Y Museo, Notas del

- Museo, XVI(99):285–302.
- Gastaldo, R.A. & Matten, L.C. 1978. Studies on North American pectopterids. I. *Pecopteris vera* n. sp. from the Middle Pennsylvanian of Southern Illinois. *Palaeontographica (Abt. B)*, 165:43–52.
- Gifford, E.M., Foster, A.S., 1996. *Morphology and evolution of vascular plants*. New York, W. H. Freeman and Company, 626 p.
- Griffis, N.P., Montanez, I.P., Mundil, R., Richey, J., Isbell, J., Fedorchuk, N., Linol, B., Iannuzzi, R., Vesely, F., Mottin, T., da Rosa, E., Keller, B. & Yin, Q.Z. 2019. Coupled stratigraphic and U-Pb zircon age constraints on the late paleozoic icehouse-to-greenhouse turnover in south-central Gondwana. *Geology*, 47:1146–1150.
- Griffis, N.P., Mundil, R., Montañez, I.P., Isbell, J., Fedorchuk, N., Vesely, F., Iannuzzi, R. & Yin, Q.Z. 2018. A new stratigraphic framework built on U-Pb single-zircon TIMS ages and implications for the timing of the penultimate icehouse (Paraná Basin, Brazil). *Geological Society of America Bulletin*, 130(5/6)848–858.
- Holz, M., França, A.B., Souza, P.A., Iannuzzi, R. & Rohn, R. 2010. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 29:381-399.
- 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.
- Iannuzzi, R. & Vieira, C.E.L. 2005. *Paleobotânica*. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 167.
- Jurigan, I., Ricardi-Branco, F., Neregato, R. & Santos, T.J.S. 2019. A new tonstein occurrence in the eastern Paraná Basin associated with the Figueira coalfield (Paraná, Brazil): Palynostratigraphy and U-Pb radiometric dating integration. *Journal of South American Earth Sciences*, 96:1-18.
- Limarino, C.O., Césari, S.N., Spalletti, L.A., Taboada, A.C., Isbell, J.L., Geuna, S. & Gulbranson, E.L. 2014. A paleoclimatic review of southern South America during the late Paleozoic: A record from icehouse to extreme greenhouse conditions. *Gondwana Research*, 25:1396–1421.
- Lundqvist, G. 1919. Fossile Pflanzen der *Glossopteris*-Flora aus Brasilien. *Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, 60 (3):1–36.
- Marques-de-Souza, J. & Iannuzzi, R. 2016. New occurrences of the genus *Ottokaria* Zeiller (Cisuralian, Paraná Basin, Brazil). *Review of Palaeobotany and*

- Palynology*, 234:1–10.
- Medeiros, R.A. 1971. Roteiro de excursão nº 2, Bacia do Paraná — Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo São Paulo. *Boletim Especial*, 2:15-28.
- Meyen, S. V. 1987. *Fundamentals of palaeobotany*. New York, Chapman and Hall, 432 p.
- Milani, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-oriental*. Porto Alegre, 255 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Milani, E.J., Melo, J.H.G. de, Souza, P.A. de, Fernandes, L.A. & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15:265–287.
- Petri, S. & Fúlfaro, V.J. 1983. *Geologia do Brasil: fanerozoico*. São Paulo, T. A. Queiroz, 631 p.
- Read, C.B. 1941. Plantas fósseis do Neo-Paleozóico do Paraná e Santa Catarina. *Monografias da Divisão de Geologia e Mineralogia*, XII:1–118.
- Ricardi-Branco, F. 1997. Taoflora gondvânica do Membro Triunfo Formação Rio Bonito (Eopermiano), no município de Figueira, PR. São Paulo, 182 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Rigby, J.F. 1968. New fossil locality near Laras, State of São Paulo. *In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 1968, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, p. 201–208.
- Rohn, R. & Rösler, O. 1986. Pteridófilas pectopteróides da Formação Rio do Rasto no Estado do Paraná e da Formação Estrada Nova no Estado de São Paulo (Bacia do Paraná, Permiano Superior). *Boletim do Instituto de Geociências da USP (IG-USP)*, 17:57–76.
- Rösler, O. 1979. Plantas fósseis de São João do Triunfo (PR), Formação Rio Bonito, e suas implicações geológicas *In: Atas Do 2º Simpósio Regional de Geologia*. Rio Claro, pp. 181-194.
- Rösler, O. 1978a. Novas ocorrências na Formação Rio do Rasto, Permiano Superior, Estado do Paraná. *Boletim do Instituto de Geociências - USP*, 9:57-152.
- Rösler, O. 1978b. The Brazilian Eogondwanic floral succession. *Boletim do Instituto de Geociências - USP*, 9:85-91.
- Rösler, O. 1974. Novas espécies de *Sphenophyta* na Formação Rio Bonito

- (Permiano) no Estado do Paraná. *Boletim do Instituto de Geociências - USP*, 5:17–28.
- Rösler, O. 1972. Flora da Formação Rio Bonito do Estado do Paraná. São Paulo, 130 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Rothwell, G.W., Millay, M.A. & Stockey, R.A. 2018. Escapia gen. nov.: Morphological Evolution, Paleogeographic Diversification, and the Environmental Distribution of Marattialean Ferns Through Time. In: Krings, M., Harper, C., Cuneo, N. & Rothwell, G. (Eds.). *Transformative Paleobotany*. Burlington, Academic Press, p. 271–360.
- Schneider, R.L., Mühlmann, H., Tomasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F & Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. *Anais... Porto Alegre, SBG*, v.1, p. 41–65.
- Tavares, T.M.V. 2007. Filicíneas permianas permineralizadas da Formação Corumbataí, nordeste da Bacia do Paraná. Rio Claro, 135 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- 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.
- Tavares, T.M.V., Rohn, R. & Merlotti, S. 2011. Caules permineralizados de *Tietea* e *Psaronius* na Bacia do Paraná (Formação Corumbataí, Permiano). *Pesquisas em Geociências*, 38:114–131.
- Tryon, R. 1960. A glossary of some terms relating to the fern leaf. *Taxon*, 9:104–109.
- Turland, N.J., Wiersema, J.H., Barrie, F.R., Greuter, W., Hawksworth, D. L., Herendeen, P.S., Knapp, S., Kusber, W.-H., Li, D.-Z., Marhold, K., May, T.W., McNeill, J., Monro, A.M., Prado, J., Price, M.J. & Smith, G.F. (Eds.). 2018. International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017, *Regnum Veg. ed, Code. Koeltz Botanical Books*, Glashütten. Disponível em: <<https://doi.org/https://doi.org/10.12705/Code.2018>>. Acesso em: 27 out. 2019.
- Vieira, C.E.L. 2004. *Taxonomia, paleoecologia e paleofitogeografia de frondes*

- pecopterídeas do Neopaleozóico da América do Sul*. Porto Alegre, 249 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Vieira, C.E.L. & Iannuzzi, R. 2000a. Presença de *Asterotheca* sp. no Permiano Superior da Bacia do Paraná (Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto). *Revista da Universidade de Guarulhos, Geociências V* (n. especial):33–36.
- Vieira, C.E.L. & Iannuzzi, R. 2000b. 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.
- 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.
- Wnuk, C. 1996. The development of floristic provinciality during the Middle and Late Paleozoic. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 90:5-40.
- Zacharias, A.A. & Assine, M.L. 2005. Modelo de preenchimento de vales incisos por associações de fácies estuarinas, Formação Rio Bonito no Norte do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 35:573-583.
- Zijlstra, G. 2014. Important changes in the rules of nomenclature, especially those relevant for palaeobotanists. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 207:1-4.

PARTE II

ARTIGO

Two new species of fertile and sterile ferns from the upper Rio Bonito Formation (Paraná Basin, Lower Permian) and stratigraphic relevance.

Fernanda Picoli Zardo^{a,*}, Roberto Iannuzzi^{a,*}

^aFederal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Geosciences Postgraduate Program, Department of Paleontology and Stratigraphy, Porto Alegre, Brazil

* Corresponding author. E-mail addresses: fpzardo@gmail.com (F. P. Zardo), roberto.iannuzzi@ufrgs.br (R. Iannuzzi).

Abstract

Two new species of ferns, *Asterotheca roesleri* sp. nov. and *Pecopteris itanemaensis* sp. nov. are proposed based on material recovered from the Itanema II outcrop, a new locality in Santa Catarina state, but also from São João do Triunfo outcrop, in Paraná state, both belonging to the Rio Bonito Formation (Lower Permian, Paraná Basin, Brazil). The close association of portions of these taxa and significant morphological similarity, they are being considered herein as constituting parts of a natural taxon, i.e. fertile and sterile portion of the same plant. This result expands our knowledge about the pecopterid ferns of the early Permian of the Paraná Basin, and improves the correlation between historical sequences of Rio Bonito Formation from Paraná and Santa Catarina states. Allied to the rearrangement in the chronostratigraphic positioning of some of these sedimentary sequences caused by new U-Pb radiometric ages obtained recently in Rio Grande do Sul, Santa Catarina and Paraná states, the pecopterid ferns are being proposed as useful as guide fossils for upper part of the Rio Bonito Formation.

Keywords: *Asterotheca*, *Pecopteris*, Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Santa Catarina,

Cisuralian.

1. Introduction

First record of pectopterids vegetative portions in eastern portion of Paraná Basin was performed by Lundqvist (1919) from Ibaiti region, in Paraná state (Rio Bonito Formation). Afterwards, Permian pectopterids preserved as compressions/ impressions from this basin were studied by some authors (Read 1941; Rigby 1968; Rösler 1972; Bernardes-de-Oliveira 1977; Cazzulo-Klepzig 1978; Rösler 1978a; Rösler 1979; Bernardes-de-Oliveira 1980; Cazzulo-Klepzig and Correia 1981; Rohn and Rösler 1986; Vieira and Iannuzzi 2000a; Vieira and Iannuzzi 2000b; Vieira et al. 2007) and reviews were carried out approaching these forms and others (Ricardi-Branco 1997; Iannuzzi 2010). Permian petrified pectopterid fronds and pinnules were registered only more recently in São Paulo state (Corumbataí Formation) (Tavares 2007; Tavares and Rohn 2009). Farther, permineralized stems registered for Permian were identified in six municipalities of São Paulo State. These stems were classified as *Tietea* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986 and *Psaronius* Cotta, 1832 by Tavares et al. (2011).

Present publication provides taxonomic, systematic and morphological study of fertile and sterile pinnae and fronds of pectopterids besides stratigraphical and spatial distribution considerations from new Itanema II outcrop, in southeastern Santa Catarina state. Additional material was recovered in São João do Triunfo, Paraná state (Fig. 1). The characteristics of these analyzed forms enable classification in new species of *Asterotheca* and *Pecopteris*. This material enlarge our knowledge on pectopterid fronds in the Permian strata of Paraná Basin, allowing us to reappraisal and better understand the classification of some historical taxa, such as *Asterotheca derbyi* in Rösler (1972) and *Pecopteris paranaensis* Read, 1941, as well as to discuss the existing correlations between deposits of the Rio Bonito Formation in the states of Paraná and Santa Catarina, using for this purpose the new radiometric dating obtained for some strata of this unit in both states. Thus, the biostratigraphic value of the pectopterid fronds in the Lower Permian interval of the Paraná Basin is also discussed and emphasized. This contribution is part of the

master dissertation of the main author and is in honor to the legacy of Prof. Oscar Rösler (*in memoriam*).

2. Area of study and geological settings

Paraná Basin comprises middle east portion of South America with 1.600.000 km² of total area distributed in Argentina, Uruguay, Paraguay and Brazil, this latter with 1.000.000 km² (Petri and Fúlfaro 1983; Milani et al. 2007).

Fossil plants treated here was recovered from the coal-bearing unit called Rio Bonito Formation of Paraná Basin (Holz et al. 2010). This succession is limited bellow with Taciba Formation (Itararé Group) and above with Palermo Formation (Guatá Group). Taciba Formation is characterized by glacial sedimentation and sediments deposited during deglaciation phase that constitute continental and glacio-marine deposits interbedded with marine, fluvio-deltaic and lacustrine/lagoonal deposits. Palermo Formation are composed of inter- and supratidal facies related to a probable epicontinental sea with restricted marine conditions (Iannuzzi 2010).

Facies associations of Rio Bonito Formation suggest one wave and tide influenced estuarine system evolving to a barrier-lagoon depositional system (Holz 2003), with mires forming after barrier (Holz et al. 2010). Lithostratigraphy related facies of Rio Bonito Formation is classified as Tubarão Supergroup and Guatá Group (Bernardes-de-Oliveira et al. 2016).

Schneider et al. (1974) divided Rio Bonito Formation in three members from base to top, as accepted in Santa Catarina and Paraná state: Triunfo Member with coastal and fluvial sandstones; Paraguaçu Member, with marine mudstones and fine-grained sandstones, and Siderópolis Member, exhibiting coastal and fluvial sandstones. Medeiros and Thomaz Filho (1973) also suggest that this later member was deposited in a coastal environment.

2.1. São João do Triunfo outcrop

The locality in São João do Triunfo containing fossil plants is inserted in the uppermost part of Triunfo Member and is considered as the oldest paleoflora of Rio Bonito Formation (see Iannuzzi 2010).

The depositional environments in which coals and plant fossils were deposited was understood by Rösler (1972, 1979) as low-energy subenvironments occurring within the floodplain of a meandering river system. Nevertheless, in the northeastern of Paraná state, in one study of Rio Bonito Formation carried out by Zacharias and Assine (2005), this portion was interpreted as estuarine fills of incised valleys.

Medeiros (1971) first studied plant fossils near São João do Triunfo. After, description of outcrops and study of associated plants was performed by Rösler (1972, 1974, 1978b, 1979) contributing to better comprehension of São João do Triunfo flora. Such works report the presence of pecopterid fronds (*Asterotheca* spp. and *Pecopteris* spp.) and sphenopsid leaf shoots (*Sphenophyllum brasiliensis* and *Annularia* spp.), glossopterid leaves (*Glossopteris communis*) and rare lycopsid stems (*Brasilodendron pedroanum*). In addition, *Pecopteris pedrasica* were identified by Vieira et al. (2007). Locally, Rösler (1972, 1979) divided floral content of fossiliferous beds of São João do Triunfo outcrop in four units as follows: unit D, more basal, with lycopsid stems; units C and B with this latter presenting plentiful pecopterid fronds, and unit A, showing glossopterid leaves. As suggested by Rösler (1972, 1979), hypo-autochthonous elements composed association attested by excellent preservation of lycopsid stems and pecopterid fronds, indicating low degree of transport of plant fragments.

Rösler (1978b) divided floral succession of Paraná Basin in six informal “taphofloras”, from “A” to “F”, reflecting the succession of stratigraphic units through Carboniferous-Triassic times. Plant record presented above corresponds to “Taphoflora B”, according to that author. More recently, Iannuzzi and Souza (2005) suggest one division from Upper Carboniferous to Lower Permian strata of Paraná Basin composed by four consecutive floral stages: (1) Pre-*Glossopteris*, (2) *Phyllothea-Gangamopteris*, (3) *Glossopteris-Brasilodendron* and (4)

Polysolenoxylon-Glossopteris. These authors affirm that *Glossopteris-Brasilodendron* flora is correspondent to taphofloras B and C of Rösler (1978b).

A Sakmarian-Artinskian interval is traditionally attributed to outcrop in São João do Triunfo based on palynological relative ages and paleobotanical and stratigraphic correlations (see Ricardi-Branco and Rösler 2004; Iannuzzi 2010). A recent U-Pb radiometric dating obtained from a tonstein indicates that the relatively close Figueira coalfield, situated also in Paraná state, is late Artinskian in age (286 ± 3 Ma). The Figueira Coal Seam is directly correlated to, according to regional stratigraphic studies carried out by Zacharias and Assine (2005). In fact, outcrop in São João do Triunfo would be stratigraphically positioned a little lower than the Figueira coal horizons, in the uppermost portion of the Triunfo Member (Iannuzzi 2010). In this way, one can assume a middle-to-late Artinskian age for the outcrop under study.

2.2. Itanema II outcrop

Recently described site Itanema II outcrop is stratigraphically positioned at Treviso Coal Seam above the Barro Branco Coal Seam (Marques-de-Souza and Iannuzzi 2016), this latter exploited commercially in the south of Santa Catarina state. These layers correspond to the uppermost Siderópolis Member, upper third part of the Rio Bonito Formation (Iannuzzi 2010).

The fossiliferous bed is formed by 40 cm in the base of dark gray to black and the uppermost 10 cm of light brown sediments, totalizing 50 cm of mudstone. This bed contains several amounts of plant remains, including in addition to the fern fronds studied here, lycophyte stems, sphenophyte stems, leaves, foliar whorls and reproductive structures, glossopterid leaves and reproductive structures (e.g.: *Glossopteris communis*, *Glossopteris* cf. *G. angustifolia*, *Glossopteris* cf. *G. indica*, *Glossopteris* cf. *G. ampla*, *Gangamopteris* cf. *G. obovata*, *Gangamopteris* cf. *G. major*, *Gangamopteris* cf. *G. revoluta* and *Ottokaria*); cordaitalean and possible ginkgoalean leaves; conifer leaf shoots and seeds (Marques-de-

Souza and Iannuzzi 2016), besides a large evidence of insect-plant interactions recorded in several organs of distinct plant groups.

Over fossiliferous bed, there is 25 cm thick of siltstone and it is overlain by 2.5 m of fine sandstone with climbing ripple and wavy structures. Mudstone with planar stratification occur above followed by a siltstone layer finalizing the succession. The lithologies possibly represent lacustrine-lagoon deposits at the base, overlain by layers of sandy/siltstone and fine-grained sandstone reflecting one rapid transgression with the establishment of a tidal flat, due to a gradual rise in sea level toward the top of the succession indicating one transitional sedimentary environment (Marques-de-Souza and Iannuzzi 2016).

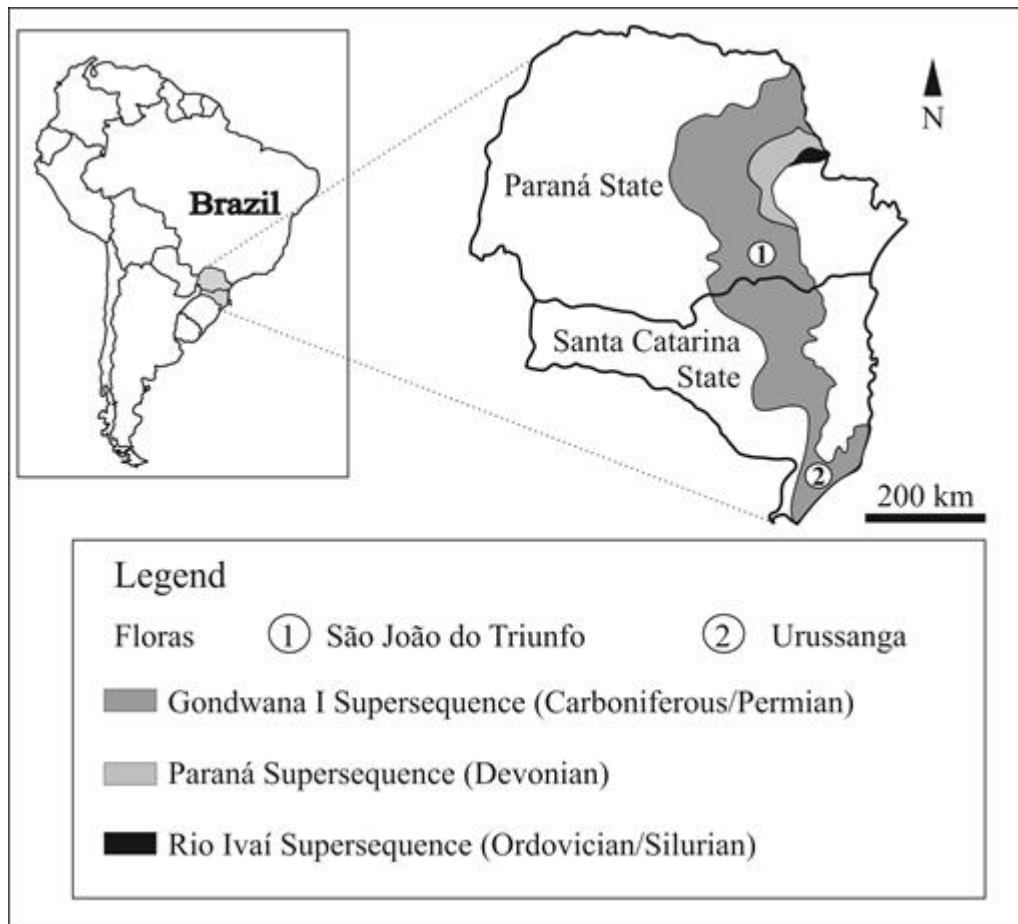
Based on stratigraphical correlations and palynological content is attributed an Sakmarian-Artinskian interval to deposition of the Siderópolis Member at Santa Catarina (Iannuzzi 2010). Nevertheless, recent radiometric dating obtained from deposits located in the central region of the Santa Catarina state, i.e. municipalities of Alfredo Wagner and Anitápolis, indicated an early Sakmarian age for the lowermost portion of the Siderópolis Member (294.82 Ma – Griffis et al. 2019). Other radiometric dating from deposits located in the central region of the Rio Grande do Sul state indicated a late Artinskian age for the topmost of the Rio Bonito Formation (295.42 Ma – Griffis et al. 2018; Griffis et al. 2019). Taking into account these absolute ages and the correlations proposed by Griffis et al. (2019) between the Rio Bonito coal deposits of the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul, a late Artinskian age can be attributed to the Barro Branco and Treviso coals and, therefore, to the fossiliferous layer analyzed here.

3. Material and methods

Most part of samples analyzed herein come from Itanema II outcrop, situated in municipality of Urussanga, within the coal basin area of south of Santa Catarina State. Other samples were

recovered from the São João do Triunfo outcrop, in the homonymous municipality, south of Paraná State (Fig. 1).

Figure 1: Areas of study showing collected localities of samples (modified from Milani 1997).



Samples collected from Itanema II and São João do Triunfo outcrops are stored in the paleobotanical collection from in the Museum of Paleontology (MP) of the Department of Paleontology and Stratigraphy (DPE) at the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), under the prefix MP-Pb. In addition, samples studied by Oscar Rösler identified as *Astrothecca derbyi* in his thesis (Rösler 1972) were examined for the purposes of comparison and they are deposited in paleobotanical collection of Geosciences Institute (IG) of São Paulo University (USP), under the prefix GP/3T. Lastly, the type-material of the species *Pecopteris paranaensis* Read, 1941 was also examined for the purposes of comparison and it was housed in paleobotanical collection of the National Museum of Natural History of Smithsonian Institution under the prefix NMNH.

Equipments and resources utilized to auxiliary the analysis and identification of fossils included binocular stereomicroscope with fiber optic lighting projected at several angles to improve venation details and other characteristics. In order to evidence characteristics of compression/impressions, detail and general photos were obtained in the Photograph Laboratory of UFRGS/DPE with digital camera Canon EOS T3i and objective lens Sigma DG Macro 70 mm. Illustrations was performed with Corel Draw 2017. Furthermore, measures were taken with ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD).

Preservation of fossils enable analysis of adpression characteristics considering as follows to distinguish Permo-Carboniferous specimens: venation pattern, pinnule shape, decurrence of pinnule midvein, attachment of pinnule base, number of sporangia per synangium and shape of sporangia (Gastaldo and Matten 1978; Rohn and Rösler 1986; Cleal 2015). Vegetative morphometric patterns were measured as defined by Rohn and Rösler (1986) beside characteristics of reproductive structures (synangia) and are represented in Table 1. Moreover, the examined material was compared with studied fossils from other Gondwana basins in Argentina, Brazil and other countries when applied, based on published diagnosis and descriptions.

4. Paleobotanical systematic

The species *Asterotheca derbyi*

Asterotheca derbyi was an epithet erected by Oscar Rösler in his unpublished Ph.D. thesis (Rösler 1972) to designate fertile fronds recovered in the basal Triunfo Member of the lower Permian Rio Bonito Formation, from São João do Triunfo and Cambuí localities, in Paraná state. He described and proposed a diagnosis to this taxon only in his thesis, showing pictures of three paratype specimens (Rösler 1972: Est. 4, figs. 19-20, 22-23). However, he did not illustrate the holotype T112a instituted by himself. Still, the paratype T377 was illustrated simply as *Asterotheca* sp. by him some years after (Rösler 1979: Est. 4, fig. 22). In fact, until nowadays,

the holotype was not illustrated and the species diagnosis or description never have been published by him in one formal journal (scientific periodic) or volume of meeting (congress, symposium, etc.). Later, Ricardi-Branco and Rösler (2004) just mentioned the presence of *Asterotheca derbyi* in “Paleoflora Figueira” in Cambuí locality, without show any description and diagnosis or illustration. Taking into account all these circumstances, we assume herein *Asterotheca derbyi* as a *nomen nudum*, following the recommendations by Zijlstra (2014) and the International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) (Art. 9.15, 40.4 and 43.2) (Turland et al. 2018).

Family MARATTIACEAE

Genera *Asterotheca* Presl, in Corda, 1845

Asterotheca roesleri sp. nov.

(Figures 2-6, 8; Table 1.)

Holotype. MP-Pb 5279.

Paratypes. MP-Pb 5172 a, 5172 b, 5286.

Studied material. Itanema II: MP-Pb 5082 a, 5082b, 5172a, 5172 b, 5200, 5279, 5282, 5285, 5286, 5287, 529 a, 5291b, 5291c, 5459; São João do Triunfo: MP-Pb 5460, 5463a, 5463b, 5483, 5484, and GP/3T 36 (T391a), 76a,b (T349a), 58a,b,c,d (T112), 85 (T365), 86a,b (T366a), 87 (T368), 89a,b (T377), 101 (T410) – Comment: the specimens analyzed by Rösler (1972) were originally presented in his thesis under the prefix "T" and in another numbering sequence that is presented in parentheses right after the numbers currently valid in the IG-USP paleobotanical collection which are under the prefix "GP/3T".

Type locality. Itanema II outcrop, municipality of Urussanga, State of Santa Catarina.

Stratigraphic horizon. Upper Siderópolis (Itanema II) Member, Rio Bonito Formation, Paraná Basin.

Age. Middle-to-late Artinskian (according to Iannuzzi 2010; Griffis et al. 2018, 2019; Jurigan et al. 2019).

Etymology. Specific epithet “roesleri” was utilized in honor of estimated paleobotanist Oscar Rösler whom extensively studied São João do Triunfo paleoflora, in Paraná state, and recovered the first specimens attributed to this form.

Diagnosis. Bipinnated fronds at least, conspicuous and thick rachis, striated longitudinally. Lanceolated pinnae, straight and parallel, alternately to sub oppositely inserted. Imparipinnate pinnae, parallel margins until the round apex, straight rachis. Pinnules with straight and parallel margins, round apex, straight connected base to the rachis, digitiforms, arranged sub oppositely to alternately (sometimes opposite). Decurrent midvein, divides pinnule surface longitudinally until the apex, lateral veins divide once close to the midvein, sometimes one resultant (acroscopic) branch divide again. Sessile synangia preserved laterally or as rosette, with 4 to 5 sporangia. Bulbous-shaped sporangia, with longitudinally stretch marks like ridges; mature sporangia free from the apex to the base where are united by a central region.

Description. Fronds – Incomplete fragments of fronds without apex and base with fertile pinnae, at least bipinnated. Frond with maximum length of 173.7 mm (incomplete frond), width of the well preserved frond reaching 128.5 mm (incomplete frond) and maximum width of the principal rachis approximately 12.95 mm. The rachis is thick, rigid, well-marked and striated longitudinally. Pinnae arranged close to each other and organized straight and parallel inserted oppositely in the principal rachis. Margins present parallel edges and pinnae form angles between 43.6° and 77.1° .

Pinnae – margins are parallel until the apex where it turns round and the pinnules decrease in size, imparipinnate. Rachis is straight and conspicuous with average diameter 1.27 mm reaching the final portion of pinna.

Pinnules – margins are straight and parallel until the apex with round format. Moreover the base of pinnules is straight and connected to the rachis characterizing digit format. The same format of pinnules is maintained until near the distal portion of pinna and in this portion reach smaller

sizes. Pinnules arranged sub oppositely to alternately, sometimes opposite, in the rachis.

Maximum length reached is 11 mm and maximum width is 4 mm.

Venation – decurrent midvein runs the pinnule surface dividing the foliar lamina longitudinally until near the apex when it branches in two or three veins. Lateral veins divide once very close to the midvein and extend almost the edge of pinnule decurrently. Rarely one (acroscopic) branch resultant of first division divides again near the pinnule margin, 6 to 8 lateral veins in each side of pinnular lamina.

Reproductive structures (synangia) – Laterally preserved synangia (Figs. 3B-E; 4A, B) as compression/impressions presenting in some samples one lifting like 3D (Fig. 3D), they are still connected in abaxial surface of pinnules. Arrangement demonstrate one row of 4 to 5 synangia in each side of midvein of pinnule (Fig 2G-I), but this number can reach up to 6 or 8 (maybe 10), in the largest pinnules (Fig. 4C, E). Synangia lacks pedicel evidencing sessile attachment (Figs. 3C, D; 4B), and evidence 4 to 5 sporangia, this later exhibiting 0.82 to 1.2 mm length and 0.45 to 0.63 mm width. Immature synangia are identifiable in sample MP-Pb 5286 still closed without separate sporangia (Fig. 6A, B), and show round distal portions when compressed from above. Mature sporangia present longitudinal stretch marks like ridges (Fig. 3B-F), and one acute apex and rounded base showing an oval shape (Fig. 3C, D).

Discussion.

*Comparison with *Asterotheca derbyi*.* Specimens quite similar to this material (from Itanema II, Santa Catarina state) from the Rio Bonito Formation, in São João do Triunfo and Cambuí localities, Paraná state, were previously reported by Rösler (1972) as *Asterotheca derbyi* in his unpublished Ph.D. thesis (as aforementioned above). They are housed at the Paleontological Collection of Geosciences Institute, in University of São Paulo (USP). Taking into account that those specimens never have been appropriated published and illustrated, they were examined and photographed by one of the authors (R.I.) in order to be compared with present material in this study (Fig. 5). Also, Additional material obtained by the authors of the same fossiliferous

horizon from which the Rösler specimens in São João do Triunfo came from was used for comparisons as follows (whose sample numbers are listed above).

In fact, specimens from Itanema II and São João do Triunfo and Cambuí represent bipinnate fronds with conspicuous and striated rachises (Fig. 2A-C; 3G; 4A, C, E) and pinnae with rigid aspect. Another similarity between samples of these localities refers to the oblong shape of pinnae, with parallel margins and pinnules presenting smaller size only near the distal portion of pinnae (Figs. 2; 3; 4). The arrangement of pinnules alternately to sub oppositely inserted in rachis is the same in specimens of Itanema II (Figs. 2B-G; 3G) and from localities of Paraná state, mostly those from São João do Triunfo (Fig. 4A, C, E).

Pinnules of the specimens from these three localities share common features as the digitiform and basal portions totally attached to the rachis (Figs. 2E, G-I; 3A, E, H; 4A, C, E). Also, venation presents the same pattern in samples of Itanema II (Figs. 2B, D, E; 3H) and those studied by Rösler in 1972 (Fig. 5). The midrib veins are decurrent and evident (Figs. 2E; 3H; 4; 5A). Secondary veins bifurcate once very close to the midrib vein, sometimes again (acroscopic vein) near the pinnule margin (Fig. 2E).

Synangia of specimen MP-Pb 5286, from Itanema II, present immature stage demonstrated through close sporangia (Figs. 2I, 6A, B) not seen in specimens from Paraná. Meanwhile, other synangia apparently in mature stage of specimens from Itanema II (Fig. 3C-F) and São João do Triunfo (Fig. 4) are well preserved than MP-Pb 5286, showing similarities in size, number and shape (oval with acute apex) of the sporangia. Mature synangia preserved in some of specimens from Itanema II evidenced longitudinally stretch marks (Fig. 3C, D; 6E, F), but in ones from São João do Triunfo this feature was not observed (Fig. 4B, D, F). Such difference seems to be as a result of preservational conditions, basically related to the matrix grain size, in which the fossilization in pure claystone provides better details for specimens from the Itanema II.

As conclusion, the occurrence of same type of pinnae and pinnules, attachment and angles of insertion of pinnules in the rachis, shared venation pattern (Figs. 2, 3, 4, 5) and similar synangia

and sporangia features, leads us to assume that the specimens studied here and those analyzed by Rösler (1972) correspond to the same kind of fertile frond and, therefore, should be placed in the same taxon.

*Comparison with other *Asterotheca* spp.* Synangia dimensions of *A. roesleri* of Itanema II (length mean = 0.95 mm; width mean = 0.51 mm) and São João do Triunfo (length mean = 0.97 mm; width mean = 0.56 mm) coincides with measures observed in *A. frenguelli* (Archangelsky and De La Sota) Cúneo, Archangelsky et Césari, 2000 from the Lower Permian strata of Río Genoa Formation, Tepuel-Genoa Basin (Chubut Province), Argentina. This species was re-studied by Cúneo et al. (2000) and synangia exhibited a maximum length of 1 mm and width mean of 0.5 mm. Furthermore, the sporangia of our material present similarity with those shown in Cúneo et al. (2000: fig. 1B, I) in terms of oval shape.

Pinnules of *A. frenguelli* and present material are very similar differing sometimes in the contracted base and more tapered the apex see in *A. frenguelli*. In addition, venation of these two species differing in the acroscopic vein when it device twice. In *A. frenguelli*, the second division occurs very close to the base of first bifurcation, differing of our material. Measures of pinnules in *A. frenguelli* (length until 17 mm and width until 4 mm – (Cúneo et al. 2000: p. 364) and our specimens of Itanema II (maximum length 9.15 mm and width 3.49 mm) and São João do Triunfo (maximum length 10.99 mm and width of 3.58 mm) coincides in width measurements nevertheless differs in length. *A. frenguelli* presents longer length than in our pinnules. Despite the similarities identified with this species, distinction found is enough to maintain our material in different taxon.

Another similar Argentinean species is *Asterotheca feruglioi* Frenguelli, 1953 from Lower Permian deposits of the Rio Genoa Valley (Chubut). However, this species present larger pinnule width (5 mm) than ones of Brazilian material, although it coincides in pinnule length (8 to 12 mm) (Frenguelli 1953: p. 290). Pinnule apex is often in lanceolated format while in our material

apex acquire rounded outline. Venation of *A. feruglioi* is denser (Frenguelli 1953: p. 290) Lastly, synangia are pentasporangiate in *A. feruglioi* while in our specimens they are tetrasporangiate. *Asterotheca anderssonii* (Halle) Archangelsky et De La Sota, 1960 from Bajo de La Leona, Santa Cruz Province, Argentina, present pinnules with the same shape found in our material, differing in venation pattern. *A. anderssonii* show lateral veins bifurcating twice, being the first close to the midvein (Archangelsky and De La Sota 1960: fig. 1, 3) while in our specimens they divide once, occasionally the acroscopic vein divide again what makes impossible classify them as *A. anderssonii*.

Pinnules of *A. roesleri* resemble in linguae format those of *A. golondrinensis* Herbst emend. Archangelsky, Césari et Cúneo, 1999 from Bajo de La Leona type area and Tepuel-Genoa Basin (Chubut Province), Permian of Argentinean Patagonia. Meanwhile, Archangelsky et al. (1999) identified the presence of tooth pinnule margin and simple venation differing significantly from present study specimens. Additionally, our material has longer than *A. golondrinensis* (maximum length 7 mm – Archangelsky et al. 1999: p. 23). These presented differences attest and justify the distinction between our material and *A. golondrinensis*.

Lastly, mature pinnae of *Asterotheca piatnitzkyi* Frenguelli emend. Vieira et al., 2007 borne similar pinnules of our material with digitiform pectopterid aspect. However, the pinnae in differentiation of this species show pinnatifid or lobulated pinnules, differing substantially from the present specimens Vieira et al. (2007). The venation is denser and lateral veins normally dichotomize twice, distinct of the venation pattern seen in our material. Furthermore, circular-shaped synangia of *A. piatnitzkyi* (Vieira et al. 2007: fig. 2B) seem to be different from those in rosette preserved in our material (Figs. 3C, D, F; 4B, D, F; 6).

Based on the aforementioned, we conclude that our material really represents a different taxon from the other South American *Asterotheca* species and, for this reason, we propose a new species named *Asterotheca roesleri* sp. nov., which includes all material previously classified as

Asterotheca derbyi by Rösler (1972), since this epithet cannot be considered valid as previously discussed (see Item The species *Asterotheca derbyi*).

Figure 2: *Asterotheca roesleri* sp. nov. (MP-Pb 5286, paratype) of Itanema II outcrop. (A) Fragment of fertile frond with pinnae and pinnules (scale bar: 4 cm); (B) sterile portion with pinnae evidencing venation in pinnules (scale bar: 1 cm); (C) fertile portion showing pinnae with immature synangia (scale bar: 1 cm); (D) apical sterile portion of pinna with dichotomous venation (scale bar: 2,5 mm); (E) pinnules exhibiting venation pattern. r = rachis; mv = midvein; sv = secondary veins (or lateral veins) (scale bar: 2 mm); (F) portions of apical fertile pinnae with conspicuous rachis (r) and insertion of synangia (arrow) (scale bar: 5 mm); (G) fertile pinnules borne immature synangia (arrow) (scale bar: 3 mm); (H) detail of fertile pinnules show in Figure 7 (scale bar: 2 mm); (I) pinnule showing immature synangia (arrow) (scale bar: 1,25 mm).

Figure 2

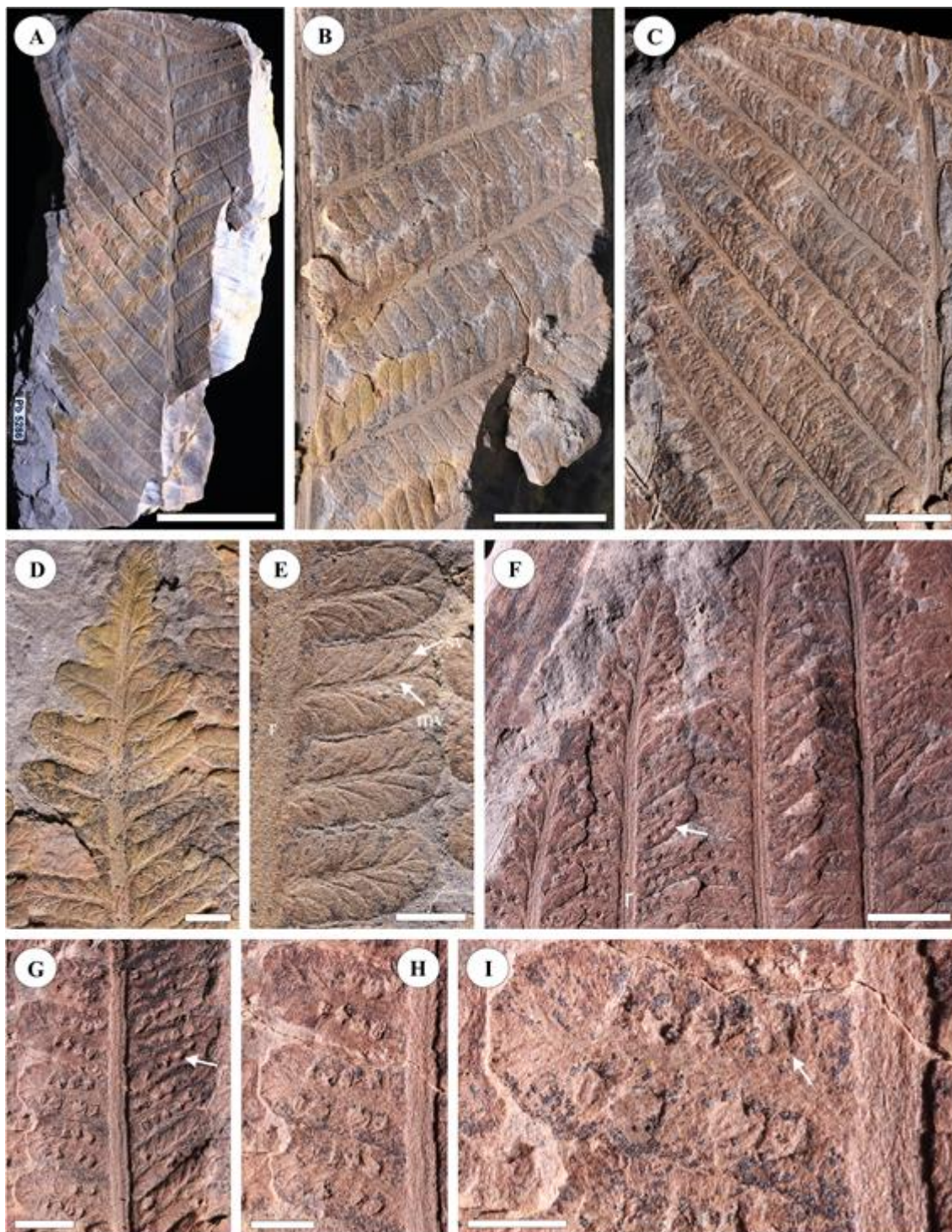


Figure 3: *Asterotheca roesleri* sp. nov. of Itanema II outcrop. (A) Fragments of pinnae with fertile pinnules (MP-Pb 5279, holotype, scale bar: 2 cm); (B) fertile pinnules evidencing mature synangia (arrow) (MP-Pb 5279, holotype, scale bar: 3 mm); (C) detail of synangia with sporangia (arrow) showed in Figure B (MP-Pb 5279, holotype, scale bar: 1 mm); (D)

detail of synangia (arrow) with longitudinal stretch marks (sm) showed in pinnules of Figure A (MP-Pb 5279, holotype, scale bar: 1 mm); (E) fertile incomplete pinnae with pinnules borne synangia (MP-Pb 5291 c, scale bar: 5 mm); (F) detail of synangium and sporangium (s) preserved as top view rosette with insertion point (white arrow) (MP-Pb 5291 c, scale bar, 1 mm); (G) incomplete frond with conspicuous rachis (MP-Pb 5172 a, paratype, scale bar: 5 cm); (H) detail of Figure G evidencing sterile pinnules with preserved dichotomous venation pattern (MP-Pb 5172 a, paratype, scale bar: 4 mm).

Figure 3

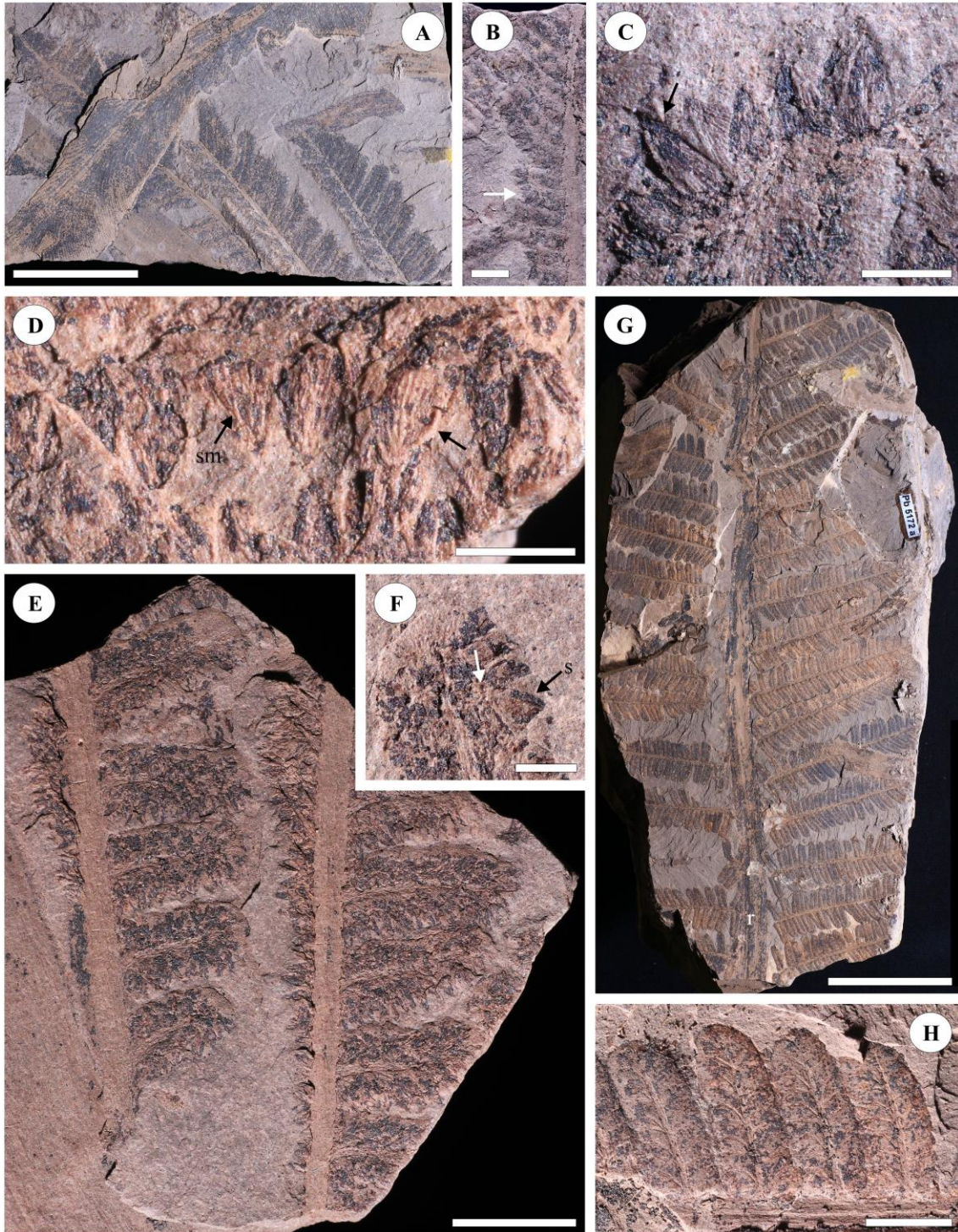


Figure 4: *Asterotheca roesleri* sp. nov. of São João do Triunfo outcrop. (A) Fertile pinnae preserved with pinnules folded beside longitudinally (left side) (MP-Pb 5463 a, scale bar: 5 mm); (B) detail of Figure A showing pinnule with mature synangia preserved in lateral view evidencing sporangia (s) (MP-Pb 5463 a, scale bar: 2 mm); (C) fertile pinnae with synangia

(arrow) (MP-Pb 5460, scale bar: 5 mm). (D) detail of synangia showed in Figure C (MP-Pb 5460, scale bar: 1 mm); (E) fertile pinnae with synangia (arrow) (MP-Pb 5484, scale bar: 5 mm); (F) detail of synangia showed in Figure E with sporangia (s) and point of insertion (arrow) (MP-Pb 5484, scale bar: 1 mm).

Figure 4

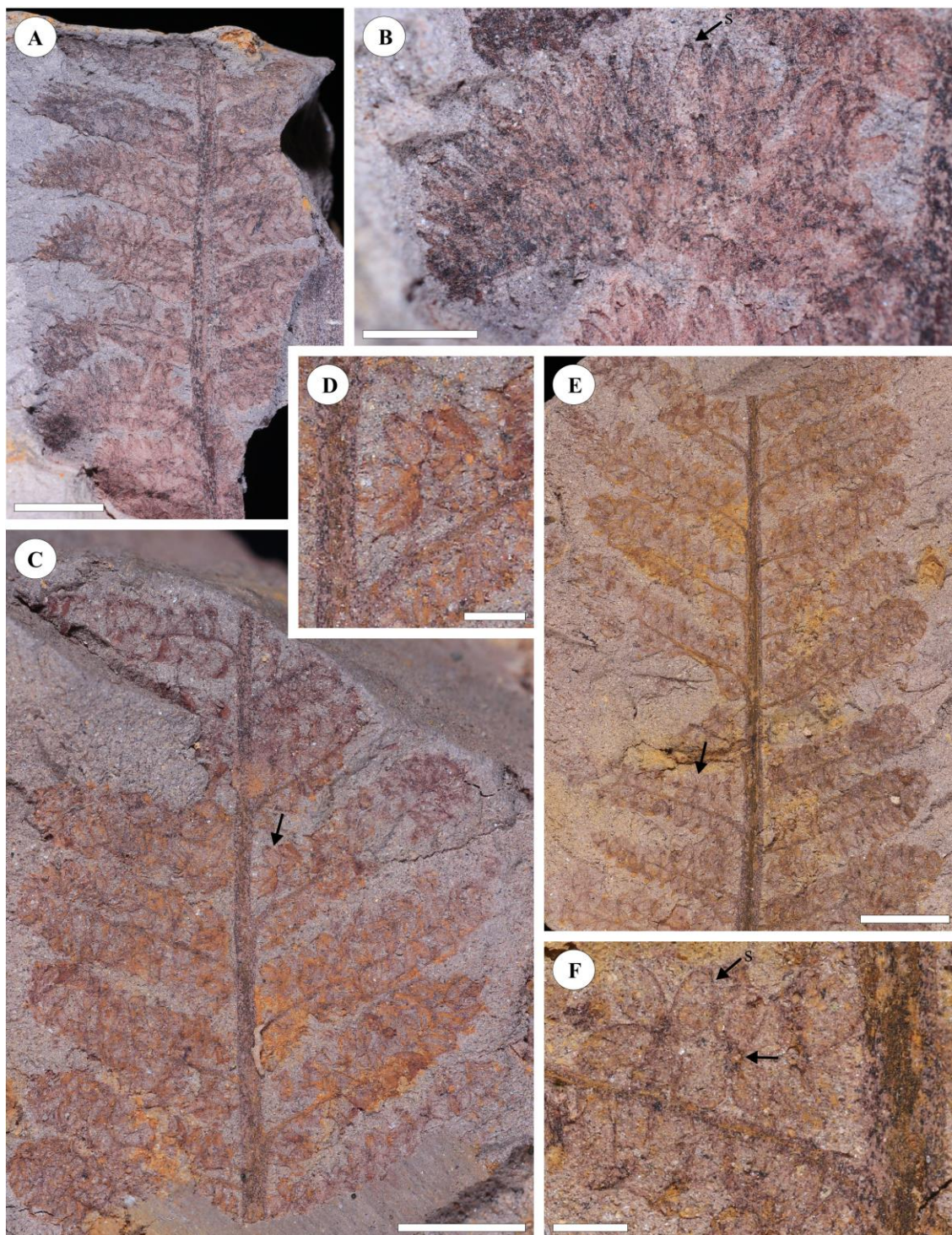


Figure 5: Samples of *Asterotheca roesleri* sp. nov., described by Rösler (1972) as *Asterotheca derbyi*, and one specimen of São João do Triunfo outcrop. (A) Pinna evidencing dichotomous pattern of venation (arrow) with pinnules exhibiting decurrent midvein (d) (GP/3T 86 aB or GP/3E 366a, scale bar: 5 mm); (B) pinna with venation poorly preserved and bulbous (initial fase of synangia development) (arrow) near the pinnule margin (GP/3T 87 or GP/3E 368, scale bar: 5 mm); (C) pinna with synangia preserved as top view rosette (white arrow) and in lateral view (black arrow) (GP/3T 89 (a,b) or GP/3E 377 a,b, scale bar: 1 cm); (D) pinna with pinnules borne synangia preserved as top view rosette (arrow) (MP-Pb 5463 b, scale bar: 5 mm).

Figure 5

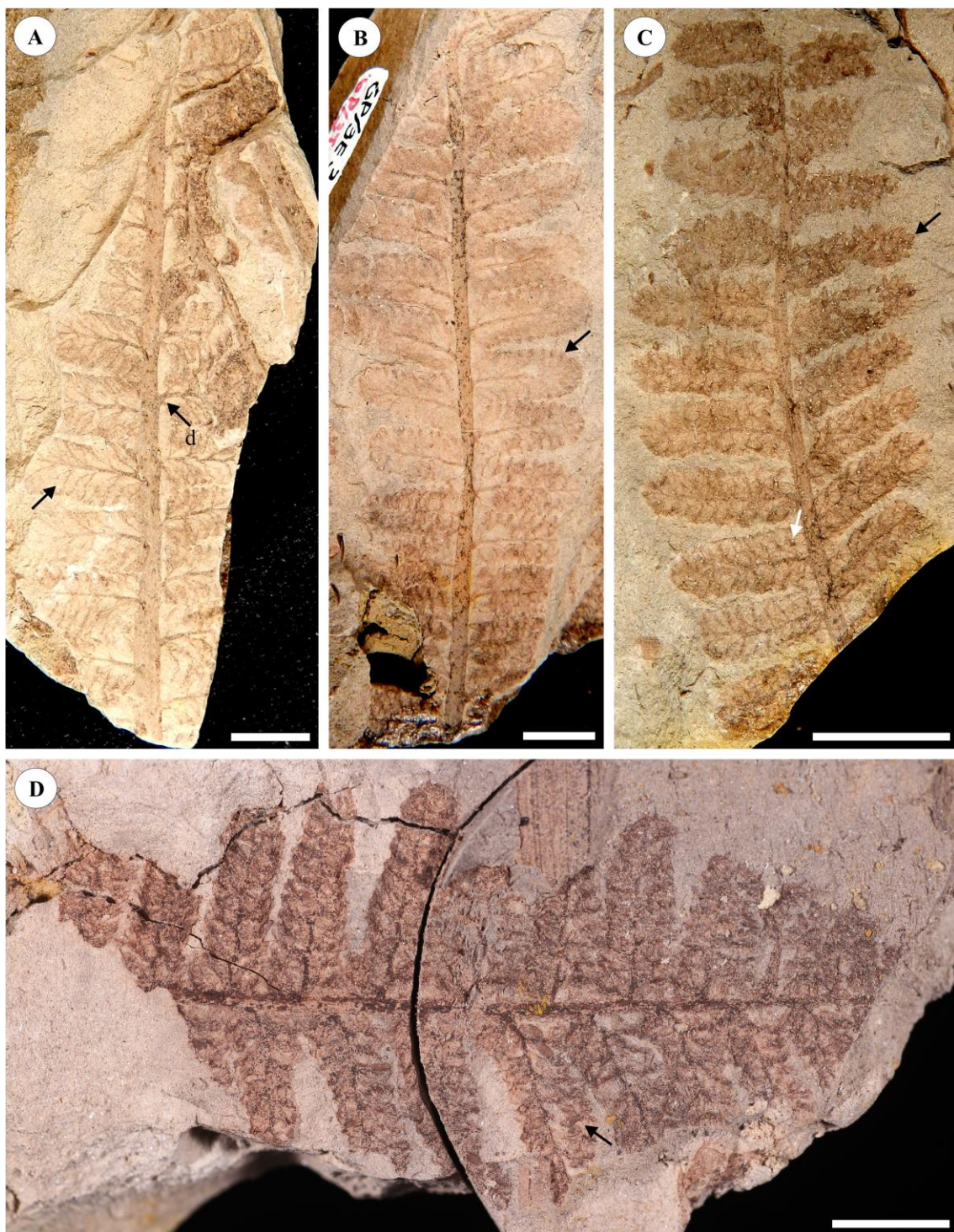
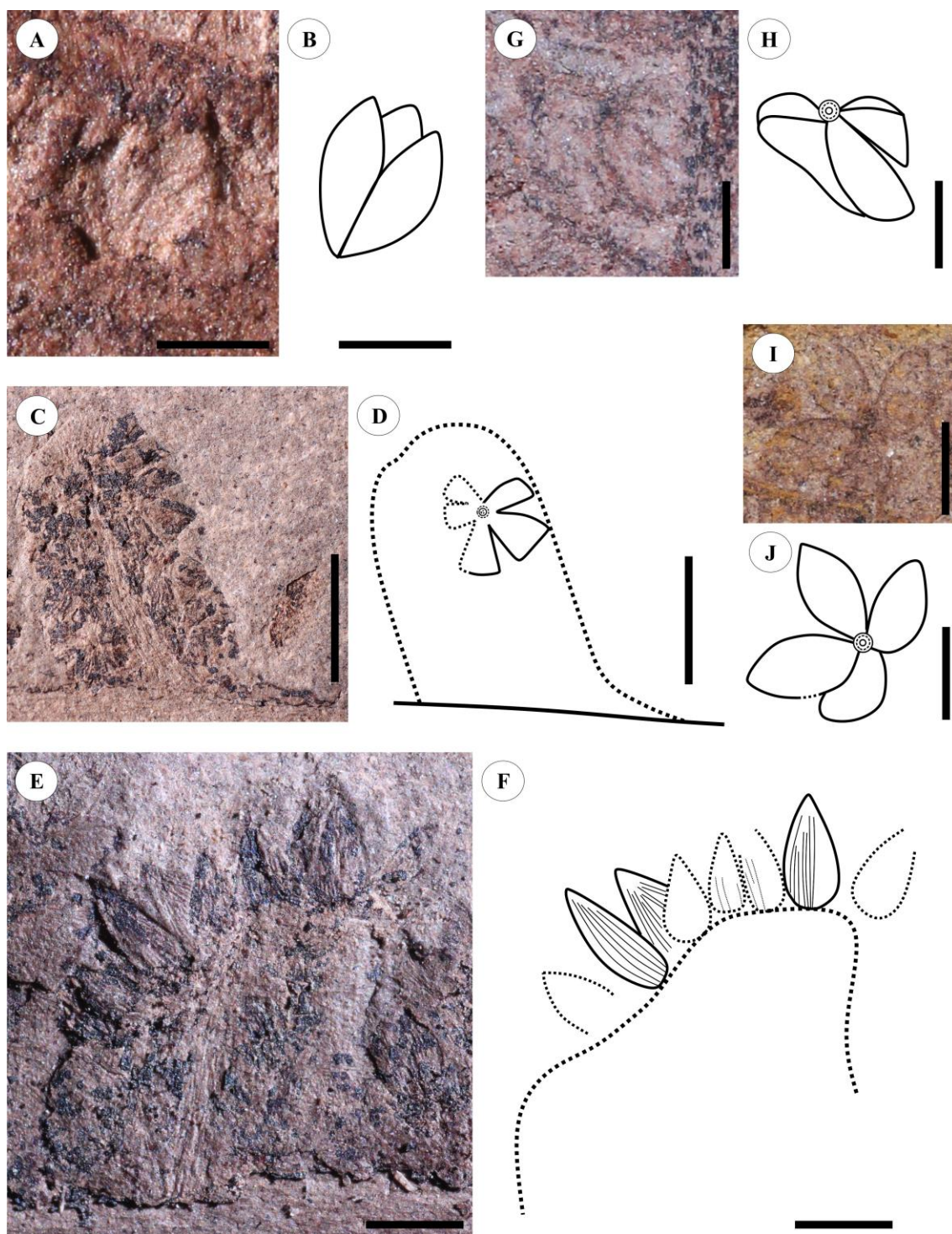


Figure. 6: Draws of synangia from *A. roesleri* sp. nov. of Itanema II outcrop: (A) Immature synangium preserved in lateral view and (B) illustration of synangium represented in Figure A (MP-Pb 5286, paratype, scale bar: 0,5 mm); (C) pinnule with synangium preserved as rosette in top view and (D) illustration of synangium represented in Figure C (MP-Pb 5291 c, scale

bar: 2 mm); (E) mature sessile synangia with longitudinal stretch marks preserved in lateral view and (F) illustration of synangia represented in Figure E (MP-Pb 5279, holotype, scale bar: 1 mm). São João do Triunfo outcrop: (G) mature synangium preserved in lateral view and (H) illustration of synangium represented in Figure G (MP-Pb 5463, scale bar: 1 mm); (I) mature synangium preserved as rosette in top view and (J) illustration of synangium represented in Figure I (MP-Pb 5484, scale bar: 1 mm).

Figure 6



Group PTERIDOPHYLLA (*Incertae sedis*)

Morphogenera *Pecopteris* (Brongn.) Sternb.

Pecopteris itanemaensis sp. nov.

(Figures 7, 8; Table 1)

Holotype. MP-Pb 5197 a, b.

Paratypes. MP-Pb 5194, 5196 a, b.

Study material. Itanema II: MP-Pb 5196 a, 5196 b, 5197 a, 5197 b, 5194, 5195, 5220, 5279, 5281, 5283 a, 5284, 5288, 5290, 5292 a, 5292 b, 5293 a, 5293 b, 5481; São João do Triunfo: MP-Pb 5483.

Type locality. Idem *Asterotheca roesleri* (see above).

Stratigraphic horizon. Idem *Asterotheca roesleri* (see above).

Age. Idem *Asterotheca roesleri* (see above).

Etymology. Specific epithet “itanemaensis” was used in reference to the Itanema locality from which the main specimens were recovered.

Diagnosis. Frond division unknown, at least bipinnate; rachis of the lower order rather heavy, bearing crowded pinnae at nearly right angles, tending to overlap slightly; pinnae rather rigid, the pinnules close each other, set at nearly right angles, alternate to subopposite; pinnules oblong, rounded distally, with strong decurrent midvein, lateral veins departing from the midvein at an acute angle and divide in more open angles immediately afterwards once, sometimes acroscopic branch divides again near the margin; cell printing reveals equidimensional or polyhedral cells in the interneural regions and rectangular ones on the veins.

Description. Fronds – Non complete fragments of fronds have been found, however the parallel arrangement of some pinnae (MP-Pb 5194; Fig. 7E) suggest a frond at least bipinnated.

Pinnae – Disposed close each other and with lanceolated format. The bases of the pinnae often present good preservation in the well preserved complete samples. Apical portions are not evident, although pinnae present uniformity in the width with parallel lateral margins almost until the distal portion. Straight striated rachis presenting rigid aspect. The average width of the pinnae is 15.2 mm and the maximum length observed is 59.5 mm (incomplete pinna). Rachis diameters of analyzed samples present average of 1.1 mm. Insertion angle of pinnules in the

rachis is 70.58° on average. Approximately, it occurs 2 to 3 (frequently 3) pinnules per centimeter.

Pinnules – the pinnules have linguae to oblong shape, inserted in the rachis of pinna along the length of their bases with entire margins. The base of pinnules is totally fused to the rachis. Margins are straight and parallel to each other almost until the apex where they round. The maximum width reached of pinnules is 3.31 mm (mean: 3.03 mm) and the length is 8.116 mm (mean: 7.13 mm). Pinnules are disposed alternately in the rachis of pinna. Printings (molds) of cell epidermis of adaxial? (superior) surface was preserved in the interneural region and above the vein pathways. This authigenic preservation shows that equidimensional or polyhedral cells with rounded outlines and disorganized arrangement are present in the interneural region while rectangular ones with straight corners and exhibiting orientation are seen above the veins (Fig. 7F, G).

Venation – the venation in pinnules comprises one midvein that part decurrently from the pinnae rachis until the apex dividing twice and resultant branches tend to divide again. Lateral veins arise alternately and divide once very close to the midvein and extend almost the edge of pinnule decurrently. This first division in lateral veins occurs quite close to the midvein, given origin to 6 to 9 lateral veins in each side of pinnular lamina. The acroscopic branches of lateral veins are sometimes arched as well as the basisopic, forming a wishbone-shaped division. Rarely one (acroscopic) vein resultant of first division divides again halfway or near the pinnule margin (Fig. 8B).

Discussion - In Paraná Basin, there are a few other similar taxa to our material. One of them is *Pecopteris taguaiensis* Rohn et Rösler, 1986 described to Upper Permian Rio do Rasto Formation (in Paraná state) which presents pinnule format identical. But, first dichotomies of lateral veins in pinnules in *P. taguaiensis* occur in the second half of the path toward the margin (Rohn and Rösler 1986: fig. 12), different from our material that such dichotomies appear very close to the midvein, justifying the maintenance of these forms in distinct taxa (Fig. 7B-D; 8B).

Pecopteris bracingaensis Rohn et Rösler, 1986 from Upper Permian Rio do Rasto Formation is similar with our material in terms of straight pinnule margins, differing in pinnule shape and venation pattern. *P. bracingaensis* presents falcate pinnules and lateral veins part of midvein dividing for the first time in the middle course through the margin (Rohn and Rösler 1986: fig. 24-27) while our specimens evidence digitiform pinnules and dichotomy of lateral veins occur very close to the midvein (Fig.7B-D; 8B). *Pecopteris esperancensis* Rohn et Rösler, 1986 is likewise similar to our material in pinnule format and venation pattern, and as *P. bracingaensis* presents almost the same distinct characteristics, showing pinnules a little less falciforms and laterally coalesced in their bases.

Pecopteris pedrasica Read emend. Vieira, Iannuzzi et Guerra-Sommer is known for having a highly polymorphic frond, because of this, different portions of the frond support different types of pinnules. Pinnae with pinnules in differentiation of *P. pedrasica* (Vieira et al. 2007:figs. 3F, I; 4D, F) exhibit lobulated margins and differ from our specimens that show always straight margins. However, immature pinnae of *P. pedrasica* present pinnules in general with entire margins and narrowing base. In our material, the margins are straight, but they are not narrow at their bases. However, in few cases, the pinnule bases can be almost coalescent, being very similar to those of our specimens. Moreover, the venation pattern of those pinnules of *P. pedrasica* is denser, with lateral veins bifurcating just once differing significantly of our material.

Lastly, there is *Pecopteris paranaensis* Read, 1941, a species based on fragmented and poorly preserved sterile pinnae and pinnules recovered from Lower Permian Rio Bonito Formation (Tubarão Group), in Cambuí, Paraná State. In addition, Read (1941) proposed other two species, *P. pedrasica* and *P. cambuhyensis* Read, 1941. The latter species was posteriorly considered one ontogenetic stage of *P. pedrasica* by Rösler (1972).

One of the authors (RI) had access to the type-material of Read (1941), and it was realized that there are probably more than one morphotype (two-or-three) under the epithet *P. paranaensis*.

Initially, only two specimens have partially preserved venation among the six specimens that are part of the type material (housed in Smithsonian Institute) and, consequently, are those that could be compared with our specimens. The specimen USNM 40620 (Read 1941: pl. 2, fig. 2) presents pinnules slightly falciform and lateral veins bifurcating just once differing notably of our material. In turn, the specimen USNM 40622 (Read 1941: pl. 2, fig. 5) has pinnules with venation pattern that resemble our form, that is, with two dichotomies in the lateral veins, the second in acroscopic branch. Nevertheless, venation is denser and all pinnules have two dichotomies of their lateral veins, similarly to what happens with some pinnules of the *P. pedrasica* (see above). In addition, this specimen is a proximal portion of quite fragmented and twisted bipinnate frond, presenting few intercalate preserved pinnules, and, because of this, it is not possible to determine precisely the pinnule outlines or their insertion modes. In this sense, there is no way to insert our material, which consists of more complete and much better preserved specimens, in *P. paranaensis* based on this single incomplete specimen. The other specimens (USNM 40608, 40609, 40621) even have the arrangement on the rachis and outline of the pinnules similar to those of the material under study, but, on the other hand, they do not have distinct venation, preventing a more accurate comparison.

P. frenguelli Archangelsky et De La Sota (1960) from Argentina resemble *P. itanemaensis* in venation pattern and pinnule format. Both present lateral veins bifurcating close to the midvein and pinnule is digitiform. *P. frenguelli* exhibit pinnules with maximum length of 9 mm and maximum width of 2.6 mm (Archangelsky and De La Sota, 1960: p. 90). Our material present pinnule dimensions approximately of 5.6 to 8.1 mm of length and 2.6 to 3.3 mm of width, thus not differing significantly of *P. frenguelli*. However, lateral veins resultant of first division in *P. frenguelli* not bifurcate as our material making impossible the classification in this taxon.

Finally, cell impressions (molds) were identified on surface of some pinnules of our material (Fig. 7F, G), although according to Pšenička and Zodrow (2017), Paleozoic fern cuticles are recovered in small portions due to thin cutinized layer in epidermis of this group which difficult

the obtaining them. In Paraná Basin, there are only one possible cell impressions in pectopterid pinnules, reported by Rohn and Rösler (1986) in interneural regions of *P. taguaiensis* from Upper Permian Rio do Rasto Formation. These cellular molds are a very distinct and unique feature that helps to characterize the form studied here.

On the basis of the aforementioned discussed, we conclude that our material really represents a distinct taxon from the other South American *Pecopteris* species and, as a consequence, we propose a new species named *Pecopteris itanemaensis* sp. nov.

Relationship with Asterothea roesleri. The specimens of *P. itanemaensis* sp. nov. and *Asterothea roesleri* sp. nov. are found side by side on the fossiliferous horizon, and may even be within the same hand sample. In addition, the pinnae and pinnules of the sterile portions of *A. roesleri* (Figs. 2B, D, E; 3H; 5A) are identical in terms of arrangement, shape and venation pattern of the pinnules to those of *P. itanemaensis*. Therefore, it is easy to establish a correspondence between *P. itanemaensis* and *A. roesleri*, the first one being the morphospecies based on the sterile portions and the second one on the fertile ones, both constituting parts of the same natural taxon.

Figure 7: *Pecopteris itanemaensis* sp. nov. of Itanema II outcrop. (A) Pinna with preserved venation and conspicuous rachis evidencing decurrent midvein (d) (MP-Pb 5197 b, holotype, scale bar: 5 mm); (B) pinna impressed as a mold in 3D (MP-Pb 5196 a, paratype, scale bar: 5 mm); (C) detail of pinnules showed in Figure B with dichotomous venation pattern (white arrow), bifurcating very close to the midvein (black arrow) (MP-Pb 5196 a, paratype, scale bar: 3 mm); (D) detail of Figure A evidencing pinnules with venation pattern and decurrent midvein (d) besides conspicuous rachis (r) (MP-Pb 5197 b, holotype, scale bar: 2,5 mm); (E) fragments of pinnae with pinnules (MP-Pb 5194, paratype, scale bar: 1 cm); (F) pinnules in detail of Figure E showing impression of cells and venation (arrow) (MP-Pb 5194, paratype, scale bar: 2 mm); (G) detail of pinnule presented in Figure F evidencing equidimensional cells

(ec) and above the veins exhibit rectangular cells (rc) (MP-Pb 5194, paratype, scale bar: 1 mm).

Figure 7

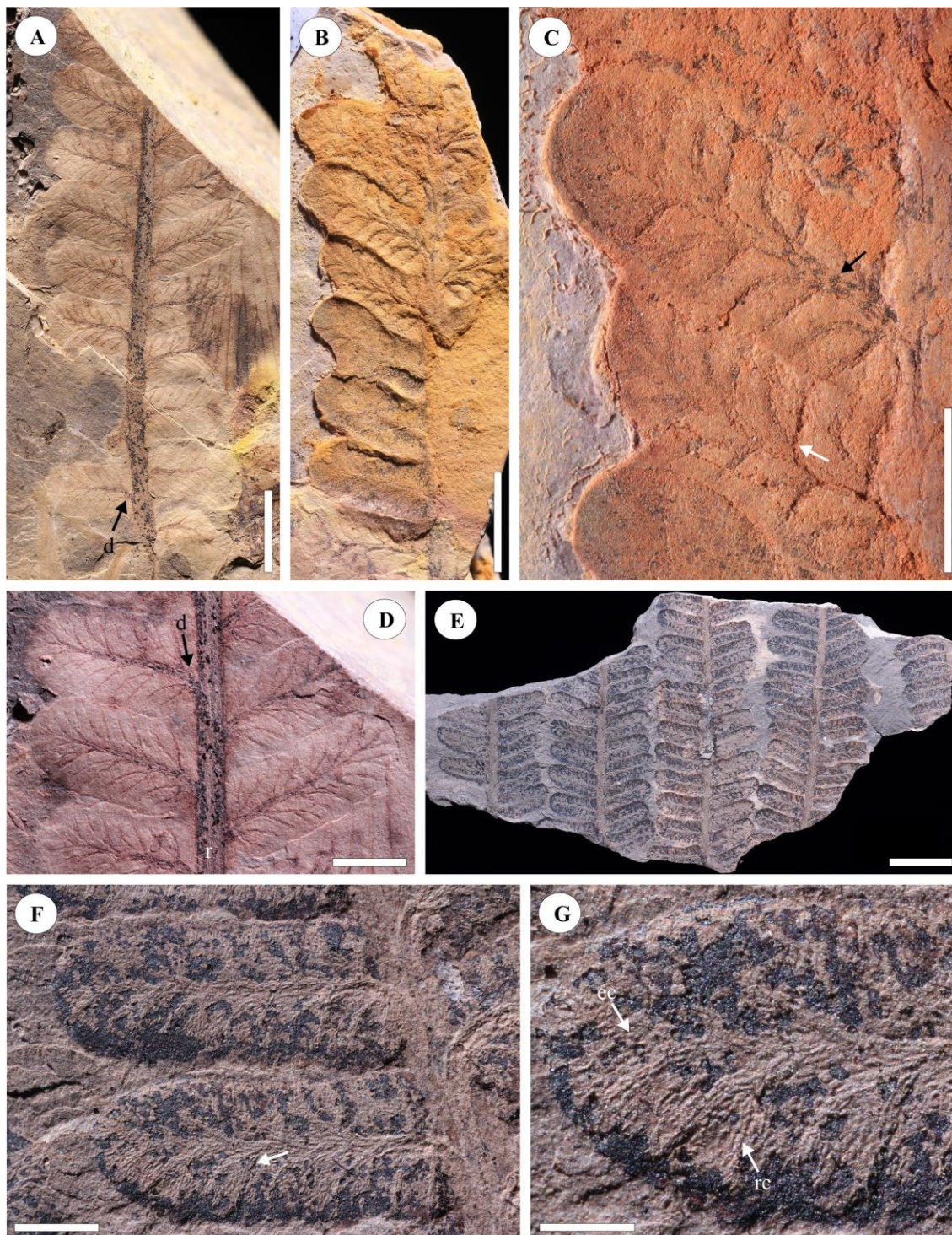
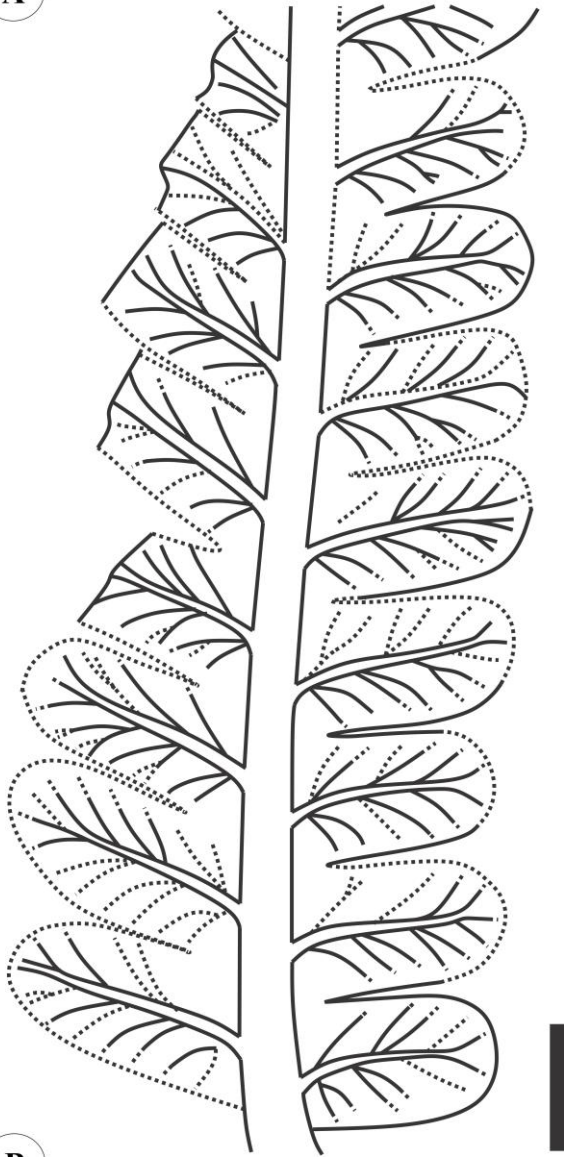


Figure 8: Draw of plants from Itanema II outcrop. (A) Sterile portion of fertile frond of *Asterotheca roesleri* sp. nov. with pinnules evidencing venation (MP-Pb 5286, paratype, scale bar: 2.5 mm); (B) pinna of *Pecopteris itanemaensis* sp. nov. with preserved venation and conspicuous rachis evidencing decurrent midvein (d) and rarely second divisions of lateral veins (arrows) (MP-Pb 5197 b, scale bar: 3 mm).

Figure 8

A



B

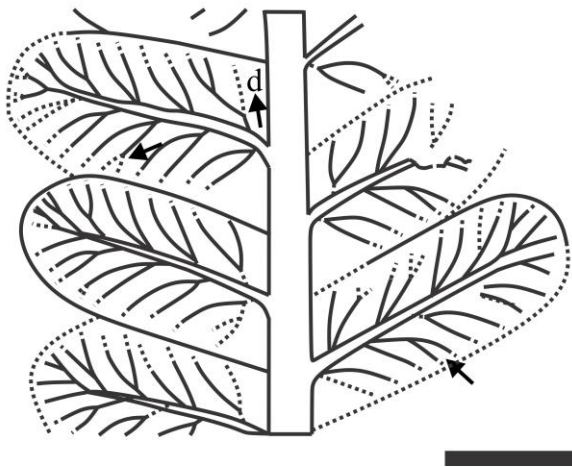


Table 1: Measured values of quantitative parameters for the studied samples.

Legend: *São João do Triunfo (3 specimens of *A. roesleri*); **USP samples - *A. derbyi* from Rösler (1972) thesis (4 specimens); I = incomplete sample; FW = Frond width; FL = Frond length; FRW = Frond rachis width; PIA = Pinnae insertion angle; P/cm = Density of pinnae per centimeter; PW = Pinna width; PL = Pinna length; PRW = Pinna rachis width; PiIA = Pinnule insertion angle; PAA= Pinnae apex angle; Pi/cm = Density of pinnules per centimeter; PiW = Pinnules width; PiL = Pinnules length; PiL/PiW = length/width pinnule ratio; SVA = secondary veins angle; SVN = Secondary veins number; Sv/mm = Density of secondary (lateral) veins per millimeter; SV = Number of secondary (lateral) veins from the primary.

Table 1

Parameter / Samples		<i>Asterotheca roesleri</i> sp. nov. (6 specimens)	<i>Pecopteris itanemaensis</i> sp. nov. (6 specimens)
Fronds	FW (mm)	61.59 (I) - 128.55 (I)	
	FL (mm)	173.73 (I)	
	FRW (mm)	2.33 - 12.95	
	PIA (Grad)	43.598 - 77.157	
	P / cm	1	
Pinnae	PW (mm)	9.55 - 17.36 *17.760 - 18.114 **15.76-20.595	12.216 - 16.47
	PL (mm)	46.81 - 69.12 (I) *24.092 - 39.148 (I) **39.930-48.91 (I)	59.56 (I)
	PWR (mm)	0.88 - 1.77 *0.815 - 1.363 **0.96-2.096	0.77 - 1.257
	PiIA (Grad)	65.348 - 88.911 *51.661 - 70.641 **68.152-87.122	53.368 - 84.123
	PAA (Grad)	35.931 - 63.512	
	Pi / cm	2 to 3 (4 in smaller branches)	2 to 3 (mostly 3)
Pinnules	PiW (mm)	2.07 - 3.49 *3.047 - 3.589 **2.967-4.006	2.654 - 3.31

	PiL (mm)	4.12 - 9.15 *9.052 - 10.999 **7.736-11.154	5.56 - 8.116
	PiL/PiW	1,94 - 2,65	
Venation	SVA (Grad)	46.810 - 63.547	22.427 - 38.825
	SVN	2	2 (rare 3)
	Sv/mm	2	2
	SV	3 to 4	3 to 4
	Synangia number	3 to 14	
Reproductive structures	Sporangia number/synangia	4 to 5	
	Sporangia length (mm)	0.822 - 1.205 *0.909 - 1.041	
	Sporangia width (mm)	0.455 - 0.573 *0.508 - 0.626	

5. Stratigraphic meaning of pecopterid ferns

The pecopterid ferns are considered to be immigrants from northern hemisphere and were a successful group throughout the Permian in Paraná Basin (Iannuzzi 2010). Until recently, it was believed that *Pecopteris*-type fronds (associated with *Asterotheca*-type fertile structures), together with *Sphenopteris* spp., were one of the most important pioneering groups that rapidly colonized Gondwana terrains after the end of the main glacial phase in the earliest Permian (Gastaldo et al. 1996). However, the recent radiometric ages obtained for different sections and outcrops of the Rio Bonito Formation found in the states of Rio Grande do Sul (Griffis et al. 2018), Santa Catarina (Griffis et al. 2019) and Paraná (Jurigan et al. 2019) led to a rearrangement in the chronostratigraphic positioning of some of the most important phytofossiliferous horizons in the east margin of the basin. As a consequence, it was demonstrated that pecopterid ferns (and sphenopterids also) do not occur in the oldest sedimentary sequences that were named by Griffis et al. (2018) as “Lower Rio Bonito Formation”, but only in the youngest ones denominated as “Upper Rio Bonito Formation” by those authors. Still, these ferns, with pinnules of broad and multinervate laminae, were also no longer recorded in the Pennsylvanian-early Permian deposits of the underlying Itararé Group (Iannuzzi and Souza 2005; Iannuzzi, 2013). Therefore, it appears that pecopterid and sphenopterid ferns do not appear in the basin before Sakmarian (according to the U-Pb ages

obtained by Griffis et al. 2018, 2019; Jurigan et al. 2019), being absent in the oldest strata of the Permian, of Asselian age, belong to the Itararé Group, or even to the Rio Bonito Formation. For this earliest Permian interval, the record of putative ferns is restricted to the few occurrences of *Rhodea*-type fronds, with pinnules of narrow and uninervate laminae, in Quitéria (= Rio Bonito Formation) and basal portion of Morro do Papaléo (= Itararé Group) outcrops, in Rio Grande do Sul state (see Iannuzzi 2010; Boardman et al. 2012).

Based on the aforementioned, pectopterid (and sphenopterid) ferns can be useful as guide fossils for biostratigraphic correlations throughout the basin. Not only do they attribute a maximum Sakmarian age to the deposits that contain them, but they also have their stratigraphic range starts in the youngest sedimentary sequence, known as “Upper Rio Bonito Fomation” (URBF) by Griffis et al. (2018), which would extend from Sakmarian to Artinskian, according to recent data from Griffis et al. (2019). In fact, the URBF is overlying the Transgression Permian 1 of Griffis et al. (2019), which would correspond lithostratigraphically in most sections to the transgression that characterizes the middle part of the Rio Bonito Formation, i.e. Paraguaçu Member. Therefore, URBF is basically equivalent to the upper Siderópolis Member of Rio Bonito Formation, in Santa Catarina state, following Griffis et al. (2019). The new species here erected from Itanema II are clearly positioned above the Barro Branco Coal (a datum for coal mining in the region) at the top of the Siderópolis, and inside the coal basin where this member was originally defined by Schneider et al. (1974). On the other hand, these same species are present in the outcropping section in São João do Triunfo, in Paraná, where Schneider et al. (1974), in turn, defined the lower Triunfo Member of the Rio Bonito Formation. This implies that although the section of São João do Triunfo was defined as basal and positioned much lower than the sections of the Siderópolis Member, it would, in fact, be more or less laterally equivalents, or at least, would be positioned within the same Sakmarian-Artinskian interval, above the transgression related to the Paraguaçu Member as suggested by new U-Pb radiometric ages (Griffis et al. 2019;

Jurigan et al. 2019). This is a significant change in the lithostratigraphic paradigm that needs to be further addressed by stratigraphers in the next future.

The presence of *Sphenophyllum*-type sphenophytes could also be used as a guide to establish these correlations, as they occur in both outcropping areas and are also restricted to the URBF. In fact, all the plants present in the Triunfo Member deposits in the state of Paraná (i.e., in Cambuí, Figueira and São João do Triunfo) are present in the fossiliferous horizons of the Siderópolis Member in Santa Catarina, whether at the generic level, but most, at the species level. The main issue here is that the paleoflora of the Triunfo Member in Paraná is very little diversified and poorly known, being limited to a few taxa (see Ricardi-Branco and Rösler 2004). This precludes a more accurate comparison with the Siderópolis Member paleoflora, which is very diverse and much well understood (Iannuzzi 2010). Future studies should stress on increasing the knowledge of the paleoflora of the Triunfo Member in the Paraná state in order to help us in this challenge.

6. Concluding remarks

Based on specimens recovered mainly from the Itanema II outcrop, in Santa Catarina state, but also from São João do Triunfo outcrop, in Paraná state, are proposed two new species of ferns, *Asterotheca roesleri* sp. nov. and *Pecopteris itanemaensis* sp. nov., which are related each other since the first would correspond to the fertile portion while the second to the sterile portion of the same plant, together constituting parts of a natural taxon.

This result not only expands our knowledge about the pecopterid ferns of the early Permian of the Paraná Basin, but also opens the possibility of using them as guide fossils considering the rearrangement in the chronostratigraphic positioning of some sedimentary sequences of the Rio Bonito Formation, caused by new U-Pb radiometric ages obtained recently in Rio Grande do Sul, Santa Catarina and Paraná state (Griffis et al. 2018, 2019; Jurigan et al. 2019). Taking into account the results obtained here, as well as all the new

stratigraphic frameworks suggested for the sequences of the Rio Bonito Formation, it appears that the pectopterid (and sphenopterid) ferns (as well as *Sphenophyllum*-type sphenophytes) are not present in the lower sections of this unit, dated as Asselian, having their first appearance in upper sections that begin in Sakmarian and extends to Artinskian, being able to serve as fossil guides for this youngest time-interval throughout the basin.

Another relevant consequence that the contribution of the new data brings us is that sections of the Triunfo Member in the state of Paraná, such as Cambuí, Figueira, and São João do Triunfo, considered originally the most basal when the formal definition of the Rio Bonito Formation by Schneider et al. (1974) may, in reality, be totally or, at least in part, laterally correlated to the sections of the upper Siderópolis Member, located in the Criciúma coal region, southeastern Santa Catarina state, as those would be inserted in the Sakmarian-Artinskian interval (“Upper Rio Bonito” sequence of Griffis et al. (2018) and, therefore, could be time-equivalent. This is a significant change in the lithostratigraphic framework of this formation in between Santa Catarina and Paraná states that deserves studies in detail by stratigraphers and biostratigraphers.

Acknowledgments

The authors thank the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (National Council for Scientific and Technological Development – CNPq) of Brazil, for the research grant to R.I. (Processes 430096/2016-0, PQ312747/2017-9), and L. F. Lopez (UFRGS) is warmly acknowledged for great attention and careful work obtaining pictures of the material stored in UFRGS. Part of Itanema II fossil samples were collected by Cristian Ceron, and in São João do Triunfo by Oscar Rösler and Guilherme A. Roesler who authors are very grateful.

References

- Archangelsky S., Césari S., Cúneo N.R. 1999. Revisión de *Asterotheca golondrinensis* Herbst, helecho pérmico de Patagonia, Argentina. Asociación Paleontológica Argentina. Publicación Especial 6:23–26.
- Archangelsky S. and De La Sota E. 1960. Contribución al conocimiento de las fílices pérmicas de Patagonia Extraandina. Acta Geológica Lilloana, III:85–126.
- Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 1980. Nouveau genre néomarioptériden fertile de la Flora à *Glossopteris* du Bassin de Paraná au Brésil. Boletim do Instituto de Geociências -USP, 11:31–189.
- Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 1977. Tafoflora Eogondvânica da camada Irapuá, Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão), SC. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 301 p.
- Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Mune S.E., Garcia J.M., Iannuzzi R., Guerra-Sommer M., Jasper A., Kavali P.S., Shivanna M., Pereira K.G. 2016. The Artinskian Siderópolis Member macroflora, Rio Bonito Formation and its stratigraphical correlation with other early Permian macrofloras of Paraná Basin, Brazil. Revista do Instituto de Geociências - USP, 16:65–85.
- Boardman D., Souza P.A., Iannuzzi R., Mori A.L.O. 2012. Paleobotany and palynology of the Rio Bonito Formation (Lower Permian, Paraná Basin, Brazil) at the Quitéria Outcrop. Ameghiniana, 49:451–472.
- Cazzulo-Klepzig M. 1978. Estudo da Tafoflórula do Membro Morro Pelado na sua Localidade-tipo. Pesquisas em Geociências, 11:225–303.
- Cazzulo-Klepzig M., Correia N. 1981. Contribuição ao estudo da tafoflora permiana no Membro Serrinha na Serra do Cadeado, Estado do Paraná, Brasil. In: Congresso Latino-Americano de Paleontologia. Porto Alegre, p. 233–247.
- Cleal C.J. 2015. The generic taxonomy of Pennsylvanian age marattialean fern frond adpressions. Palaeontographica (Abt. B), 292:1–21.
- Cúneo N.R., Archangelsky S., Césari S.N. 2000. *Asterotheca frenguelli* (Archangelsky y De La Sota) nov. comb., helecho pérmico de Patagonia, Argentina. Ameghiniana 37:363–367.

- Frenguelli J. 1953. Las pecopteroideas del Pérmico del Chubut. Universidad Nacional Eva Perón, Notas del Museo, XVI:285–302.
- Gastaldo R.A. and Matten L.C. 1978. Studies on North American pecopterids. I. *Pecopteris vera* n. sp. from the Middle Pennsylvanian of Southern Illinois. *Palaeontographica (Abt. B)*, 165:43–52.
- Gastaldo R.A., DiMichele W.A., Pfefferkorn H.W. 1996. Out of the icehouse into the greenhouse: a Late Paleozoic analog for modern global vegetation change. *GSA Today*, 6 (10):1–7.
- Griffis N.P., Montanez I.P., Mundil R., Richey J., Isbell J., Fedorchuk N., Linol B., Iannuzzi R., Vesely F., Mottin T., da Rosa E., Keller B., Yin Q.Z., 2019. Coupled stratigraphic and U-Pb zircon age constraints on the late paleozoic icehouse-to-greenhouse turnover in south-central Gondwana. *Geology*, 47:1146–1150.
- Griffis N.P., Mundil R., Montañez I.P., Isbell J., Fedorchuk N., Vesely F., Iannuzzi R., Yin Q.Z. 2018. A new stratigraphic framework built on U-Pb single-zircon TIMS ages and implications for the timing of the penultimate icehouse (Paraná Basin, Brazil). *Geological Society of America Bulletin*, 130(5/6):848–858.
- Holz M. 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system — an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 162:305–331.
- Holz M., França A.B., Souza P.A., Iannuzzi R., Rohn R. 2010. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 29:381–399.
- 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.
- Iannuzzi R. 2013. The Carboniferous-Permian floral transition in the Paraná Basin. In: Lucas, S.G., et al. (eds.). *The Carboniferous-Permian Transition*. New Mexico, Museum of Natural

History and Science, Bulletin 60, p. 132-136.

Iannuzzi R. and Souza P.A. 2005. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-date overview. In: Lucas S.G., Zigler K.E. (eds.). The Nonmarine Permian. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, p. 144–149.

Jurigan I., Ricardi-Branco F., Neregato R., Santos T.J.S. 2019. A new tonstein occurrence in the eastern Paraná Basin associated with the Figueira coalfield (Paraná, Brazil):

Palynostratigraphy and U-Pb radiometric dating integration. *Journal of South American Earth Sciences*, 96:1–18.

Lundqvist G. 1919. Fossile Pflanzen der *Glossopteris*-Flora aus Brasilien. K. Sven.

Vetenskapsakademiens Handl., 60:1–36.

Marques-de-Souza J., Iannuzzi R. 2016. New occurrences of the genus *Ottokaria* Zeiller (Cisuralian, Paraná Basin, Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 234:1–10.

Medeiros R.A. 1971. Roteiro de excursão n° 2, Bacia do Paraná — Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo São Paulo. *Boletim Especial*, 2:15–28.

Medeiros R.A. & Thomaz Filho A. 1973. Fácies e ambientes deposicionais da formação Rio Bonito. In: 27º Congresso Brasileiro de Geologia. Aracajú, p. 3–12.

Milani E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-oriental. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 255 p.

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

Petri S. & Fúlfaro V.J. 1983. *Geologia do Brasil: fanerozoico*. São Paulo, T. A. Queiroz, 631 p.

Pšenička J. and Zodrow E.L. 2017. Cuticles from Pennsylvanian Marattialelean fern

“*Pecopteris*” *polypodioides* (C. Presl in Sternberg) Němejc from Pilsen Basin (Czech

- Republic) and Sydney Coalfield (Canada). *Folia*, 51:13–22.
- Read C.B. 1941. Plantas fósseis do Neo-Paleozóico do Paraná e Santa Catarina. *Monografias da Divisão de Geologia e Mineralogia*, XII:1–118.
- Ricardi-Branco F. 1997. Tafoflora gondvânica do Membro Triunfo Formação Rio Bonito (Eopermiano), no município de Figueira, PR. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 182 p.
- Ricardi-Branco F. and Rösler O. 2004. The paleoflora of Figueira in the context of the neopaleozoic of the Paraná Basin, Brazil. *TERRÆ*, 1:44–51.
- Rigby J.F. 1968. New fossil locality near Laras, State of São Paulo. *Anais 22º Congresso Brasileiro de Geologia*. Belo Horizonte, p. 201–208.
- Rohn R. Rösler O. 1986. Pteridófilas pecopteróides da Formação Rio do Rasto no Estado do Paraná e da Formação Estrada Nova no Estado de São Paulo (Bacia do Paraná, Permiano Superior). *Boletim do Instituto de Geociências - USP*, 17:57–76.
- Rösler O. 1979. Plantas fósseis de São João do Triunfo (PR), Formação Rio Bonito, e suas implicações geológicas. In: *Atas do 2º Simpósio Regional de Geologia*. Rio Claro, p. 181–194.
- Rösler O. 1978a. Novas ocorrências na Formação Rio do Rasto, Permiano Superior, Estado do Paraná. *Boletim do Instituto de Geociências - USP*, 9:57–152.
- Rösler O. 1978b. The Brazilian Eogondwanic floral succession. *Boletim do Instituto de Geociências - USP*, 9:85–91.
- Rösler O. 1974. Novas espécies de *Sphenophyta* na Formação Rio Bonito (Permiano) no Estado do Paraná. *Boletim do Instituto de Geociências - USP*, 5:17–28.
- Rösler O. 1972. Flora da Formação Rio Bonito do Estado do Paraná. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 130 p.
- Schneider R.L., Mühlmann H., Tomasi E., Medeiros R.A., Daemon R.F., Nogueira A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: *28º Congresso Brasileiro de Geologia*.

Porto Alegre, v. 1, p. 41–65.

Tavares T.M.V. 2007. Filicíneas permianas permineralizadas da Formação Corumbataí, nordeste da Bacia do Paraná. MS Dissertation, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 135 p.

Tavares T.M.V. and 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.

Tavares T.M.V., Rohn R., Merlotti S. 2011. Caules permineralizados de *Tietea* e *Psaronius* na Bacia do Paraná (Formação Corumbataí, Permiano). *Pesquisas em Geociências*, 38:114–131.

Turland N.J., Wiersema J.H., Barrie F.R., Greuter W., Hawksworth D. L., Herendeen P.S., Knapp S., Kusber W.-H., Li D.-Z., Marhold K., May T.W., McNeill J., Monro A.M., Prado J., Price M.J., Smith G.F. (eds.). 2018. International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017, Glashütten, Regnum Veg. ed, Code. Koeltz Botanical Books. <https://doi.org/https://doi.org/10.12705/Code.2018>

Vieira C.E.L. and Iannuzzi R. 2000a. Presença de *Asterotheca* sp. no Permiano Superior da Bacia do Paraná (Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto). *Revista da Universidade de Guarulhos*, nº especial: 33–36.

Vieira C.E.L. and Iannuzzi R. 2000b. 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.

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

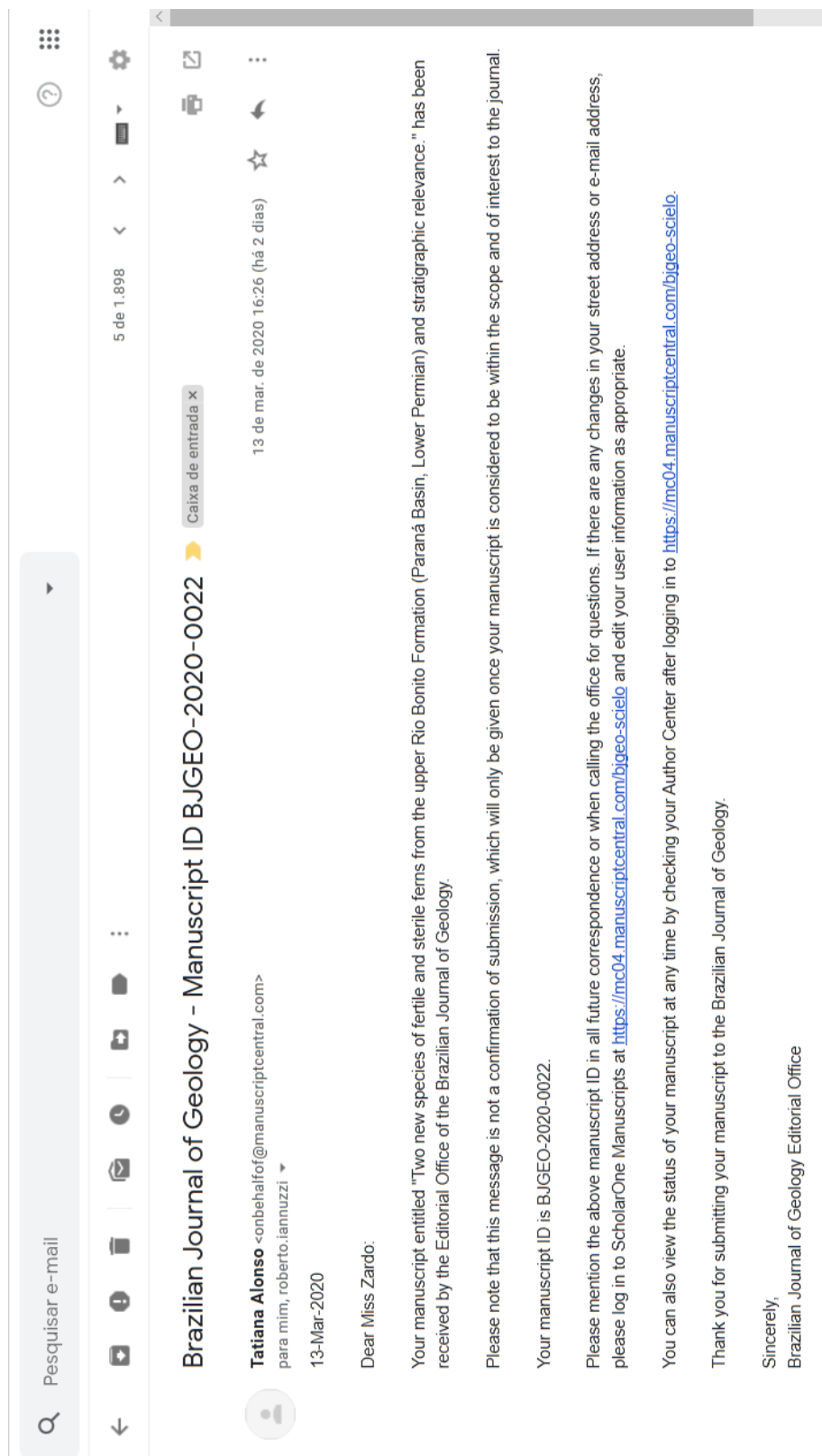
Zacharias A.A. and Assine M.L. 2005. Modelo de preenchimento de vales incisos por

associações de fácies estuarinas, Formação Rio Bonito no Norte do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 35:573–583.

Zijlstra G. 2014. Important changes in the rules of nomenclature, especially those relevant for palaeobotanists. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 207:1–4.

COMPLEMENTOS

Anexo A: Carta de submissão do artigo



Anexo B: Resumo II Sapigeo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



PORTO ALEGRE - RS
2018

PRESENÇA DE PECOPTERÍDEAS DO PERMIANO INFERIOR EM UMA LOCALIDADE NO SUL DE SANTA CATARINA (BACIA DO PARANÁ)

Zardo, F. P.¹; Iannuzzi, R.¹.

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Geociências - Programa de Pós-Graduação em Geociências.

RESUMO: As pecopterídeas obtiveram sucesso no Permiano Inferior em diversas partes do Gondwana, com distribuição cosmopolita atestada através da ampla ocorrência em várias bacias de muitos países, inclusive na Bacia do Paraná (Brasil). Geralmente, a presença de pteridófitas é indicativa de ambiente úmido, sendo a frequência e variedade dos fósseis dessas plantas responsáveis por isso. Em particular, as pteridófitas arborescentes caracterizam ambientes quentes e úmidos, pois hoje são encontradas nas regiões tropicais e subtropicais. Dessa maneira, seus fósseis possuem importância na reconstrução dos paleoambientes por meio das feições adaptativas preservadas em suas frondes e caules em resposta ao ambiente. O presente trabalho busca identificar a flora fóssil pteridofítica do Permiano Inferior encontrada no afloramento Itanema II, localizado no sul do estado de Santa Catarina, no município de Urussanga, que corresponde ao horizonte da Camada Treviso, topo do Membro Siderópolis, terço superior da Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão. Neste afloramento, foi recentemente reconhecida a presença de glossopterídeas (ex.: *Glossopteris* spp.), com novos registros de frutificações (ex.: *Ottokaria* spp.), sementes (*Cordaicarpus* spp.) e esfenófitas (ex.: *Giridia* sp. e *Sphenophyllum* sp.), dentre outros grupos de plantas. A presença destes, assim como estudos incipientes relacionados a este afloramento, justificam a realização da análise em maior detalhe da flora fóssil pteridofítica desta localidade, sendo tratados aspectos taxonômicos, inicialmente, e paleoecológicos, posteriormente. O material estudado está depositado na coleção de Paleobotânica do Museu de Paleontologia do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia (DPE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), identificado com a sigla MP-Pb. A separação de morfotipos está sendo realizada apoiada na descrição de caracteres diagnósticos, conforme bibliografia especializada pertinente, bem como na obtenção de dados morfométricos. Para tanto, as amostras estão sendo observadas em estereomicroscópio e fotografadas no Laboratório de Fotografia do DPE-UFRGS. As medidas estão sendo realizadas através das fotografias obtidas, com o auxílio do software ImageJ. As amostras fósseis estudadas incluem compressões/impressões de frondes de pteridófitas. Os exemplares analisados até o momento, em sua maioria, possuem um bom estado de preservação, apesar de muitos estarem fragmentados, sendo possível identificar espécimes que evidenciam nervuras das pínulas e estruturas reprodutivas (sinângios) preservadas em três dimensões, sendo em vista lateral ou dorsal (em forma de rosetas), dependendo de como os restos foram incorporados ao sedimento. Somado a estas características, é possível ainda inferir o formato das pinas e pínulas e o ângulo de inserção destas nas raques, bem como o formato geral da fronde preservada em, pelo menos, duas amostras. O comprimento das pinas e pínulas e a largura das raques das pinas e frondes, quando preservados, também serão analisados, além do ângulo do ápice das pinas quando esta porção estiver presente. Estas características, observadas em conjunto, serão utilizadas para a comparação e identificação dos espécimes estudados com as morfoespécies já publicadas que possuem alguma afinidade com o material examinado. Em uma análise inicial, pelo menos quatro morfotipos foram constatados, sendo necessária uma investigação e comparação mais detalhadas, além de, possivelmente, novas coletas de material.

PALAVRAS-CHAVE: PECOPTERÍDEAS, PERMIANO, BACIA DO PARANÁ.



CERTIFICADO



Certifica-se para os devidos fins que o trabalho intitulado
PECOPTERÍDEAS DA REGIÃO CARBONÍFERA DE
SANTA CATARINA (FORMAÇÃO RIO BONITO, PERMIANO INFERIOR)
de autoria de F. ZARDO; R. IANNUZZI foi apresentado na
modalidade de apresentação pôster na Reunião Anual de
Paleontologia PALEO-RS em 16 de novembro de 2018.


Rodrigo S. Horodyski
Coordenador Geral


Daniel Sedorko
Comissão Científica

PECOPTERÍDEAS DA REGIÃO CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA (FORMAÇÃO RIO BONITO, PERMIANO INFERIOR)


F. ZARDO¹; R. IANNUZZI¹


¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113, Bairro Agronomia, Porto Alegre – RS.
fzardo@gmail.com, roberto.iannuzzi@ufrgs.br

A flora *Glossopteris* do Permiano Inferior está representada na Bacia do Paraná em diversos locais nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Santa Catarina (SC). Uma nova localidade foi identificada no município de Urussanga/SC contendo abundantes fragmentos de diversos grupos de plantas, como folhas (*Glossopteris* spp.) e frutificações (*Arberia* sp., *Ottokaria* spp., *Plumsteadia* sp.) de glossopterídeas, sementes (*Cordaicarpus* spp.), rosetas (*Sphenophyllum* sp.) e estruturas reprodutivas (*Giridia* sp.) de esfenófitas, dentre outros. Para o presente trabalho, foram estudadas frondes defilicófitas encontradas no afloramento Itanema II, sendo abordados, primeiramente, os aspectos taxonômicos. As amostras estão depositadas no Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DPE/UFRGS) com a sigla MP-Pb. Para o estudo dos espécimes selecionados, foram obtidas imagens das mesmas no Laboratório de Fotografia do DPE/UFRGS que auxiliaram na posterior tomada de medidas morfométricas por meio do

programa *ImageJ* e na elaboração das ilustrações realizadas com o uso do programa *CorelDraw*. Na determinação taxonômica foi utilizada bibliografia especializada para comparação, assim como as imagens e as medidas realizadas. Em geral, os espécimes apresentaram excelente estado de conservação possibilitando uma acurada identificação, estando preservados como compressões-impressões. Deste modo, vários espécimes estéreis e férteis de pecopterídeas foram identificados respectivamente como *Pecopteris pedrasica* Read emend. Vieira, Iannuzzi et Guerra-Sommer, 2007 e *Asterothea piatnitzkyi* Frenguelli emend. Vieira, Iannuzzi et Guerra-Sommer, 2007, esta última devendo ter a sua diagnose emendada. Também foram reconhecidos espécimes estéreis de *Pecopteris paranaensis* Read, 1941, cuja diagnose igualmente será emendada a partir deste estudo, e formas férteis, cuja descrição e identificação serão feitas pela primeira vez. A excelente preservação inédita dos sinângios em vista lateral justifica a emenda da diagnose de *A. piatnitzkyi*, já que estes apresentaram apenas a forma de roseta em registros anteriores desta espécie. Em conclusão, os espécimes aqui estudados ampliam significativamente o registro das espécies de filicófitas na flora permiana gondvânica do sul de Santa Catarina, bem como da Bacia do Paraná e bacias circunvizinhas. [CNPq 430096 2016-0, PQ 312747/2017-9]

Brazilian Paleofloras. From Paleozoic to Holocene – Submission Confirmation Email: Ferns from Permian of Paraná Basin and paleoecological interpretations   

Alexandra Bakowski <alexandra.bakowski.consultant@springernature.com>
para eu  30 de ago. de 2019 21:46   

 inglês  > português  Traduzir mensagem  Desativar para: inglês 

Dear Fernanda Zardo,

This email confirms that the manuscript for the entry

- [» Ferns from Permian of Paraná Basin and paleoecological interpretations](#)« (Author(s): Rohm, R., Tavares, T., Iannuzzi, R., Zardo, F.)
* corresponding author(s)

has just been successfully (re-)submitted by Fernanda Zardo to Project [Brazilian Paleofloras. From Paleozoic to Holocene](#).

Your manuscript will now be checked by our in-house staff and then reviewed by the Editors of the project.

The system will send you another email if the Editors have accepted your contribution or if any revisions are required.

Please check if your affiliation and name is correct. You can edit your user data by clicking here: [Change user profile](#)

Please do not forward this e-mail to anyone: All links in this e-mail contain your personal key to our submission system, your manuscripts and contract.

On behalf of the Editors we would like to thank you for this submission and the hard work that you put into this manuscript.

Please help us improve and fill out our very short survey: <https://goo.gl/forms/AwzVD22eL9A0b5HX2>

Best wishes

The Springer Reference Editorial Team

FERNS FROM PERMIAN OF PARANÁ BASIN AND PALEOECOLOGICAL INTERPRETATIONS

RosemarieRohn

São Paulo StateUniversity (UNESP), IGCE, Campus Rio Claro

Rio Claro, São Paulo, Brazil

rosemarie.rohn@unesp.br

Tatiane Tavares

Federal Universityof Tocantins (UFTI), Campus Araguaína

Araguaína, Tocantins, Brazil

tatianetavares@uft.edu.br

Roberto Iannuzzi

Federal Universityof Rio Grande do Sul (UFRGS), IG-DPE

Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

roberto.iannuzzi@ufrgs.br

Fernanda Zardo

Federal Universityof Rio Grande do Sul (UFRGS), IG-DPE

Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

fpzardo@gmail.com

Abstract

This chapter presents the Permian ferns and fern-like taxa of the Paraná Basin. Each group of fossils, usually treated at the taxonomic level of genus or species, was briefly described, exemplified by new illustrations and commented on its classification. The recorded taxa are: *Pecopterisparanaensis*, *P. pedrasica*, *Pecopteristaguaiensis*, *Pecopterisdolianitii* and other related forms, *P. cadeadensis*, *Asterotheca* sp.1, *Asterothecasp.2*, *Sphenopterislobifolia*, *Ponsothecaroesleri*, ?*Dizæugotheca*, *Tieteasingularis* and *Psaronius* cf. *P. arrojadoi*. These groups were also discussed with regard to their stratigraphic position, possible environmental and climatic significance. Ferns became evident in the Paraná Basin after the Permocarboniferous glaciation and their morphology reflects long-term climate changes, from relatively cold and humid to warm dry conditions.

Glossary of Terms/List of Abbreviations, Symbols and Acronyms

Glossary

From: ¹W^AH (1998) or ²Cutler et al. (2007) or ³definition of term adapted herein.

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“NOVAS FORMAS PECOPTERÍDEAS DA FORMAÇÃO RIO BONITO, PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ”
Área de Concentração: Paleontologia
Autora: Fernanda Picoli Zardo
Orientador: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi
Examinadora: Dra. Daiana Rockenbach Boardman
Data: 16/04/2020
Conceito: A (excelente)
PARECER:
<p>Primeiramente quero dar os parabéns a autora, Fernanda Zardo, e ao seu orientador, Roberto Iannuzzi, pelo belo trabalho finalizado. O texto é fluido, gostoso de ler e muito bem escrito. O conteúdo é claro e bem explicado quanto as características dos táxons utilizados nas descrições taxonômicas. O material fóssil é muito bonito e foi bem explorado nas discussões e ilustrações. Parabéns por terem associado os dois táxons (parte fértil e vegetativa) em uma espécie natural.</p> <p>Contudo, as interpretações cronoestratigráficas me deixaram apreensiva. Por que não considerar que esta espécie possa ter vivido do Asseliano ao Artinskiano?</p> <p>Afirmar que duas localidades:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Itanema II – SC: falado na dissertação que está acima da Camada Barro Branco, Membro superior da Formação Rio Bonito, que seria “a posição mais elevada da sucessão florística da unidade (Fm. Rio Bonito)”; e associada pelo autores à idade 294,82 ±0,59 Ma (Griffis et al., 2019) e; (2) São João do Triunfo – PR: já muito discutida na literatura como representante da “paleoflora mais antiga da Fm. Rio Bonito” (citado na dissertação) do membro inferior da Fm. Rio Bonito (Membro Triunfo) (Schneider, 1974, Zacarias e Assine, 2005, Iannuzzi, 2010) datado por correlação estratigráfica com o carvão Figueira, com idade 286 ±3Ma (Jurigan et al., 2019); <p>Sejam crono-correlatas pela ocorrência de um mesmo táxons paleobotânico nas duas localidades e por datações radimétricas que não se conversam (a flora, até então, mais antiga tem a idade absoluta menor do que a flora mais jovem), diminuindo a importância de todo o arcabouço estratigráfico conhecido até então onde as duas seções são colocadas em sequencias estratigráficas distintas com um limite de sequência entre elas (Schneider, 1974, Zacarias e Assine, 2005,</p>

Iannuzzi, 2010).

Datações radiométricas são muito importantes, mas temos visto nos últimos anos grande variação nas idades obtidas para uma mesma localidade, basta observar Candiota CT1 que variou de 267.1 ± 3.4 Ma (Matos et al., 2001) até 298.23 ± 0.31 (Griffis et al., 2018).

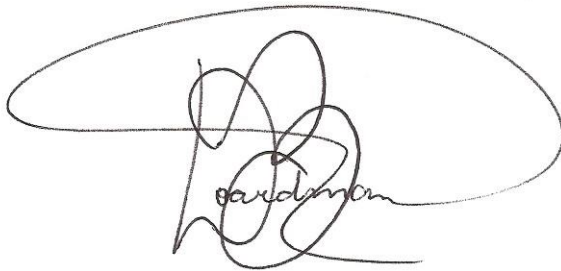
Não estou afirmando que as idades absolutas estejam equivocadas, nem que o arcabouço estratigráfico não possa estar equivocado mas acho que este trabalho, de cunho taxonômico, deveria deixar esta afirmativa como uma possibilidade dentro de outras, como uma amplitude temporal maior do táxon. Somente um trabalho estratigráfico associando os resultados das demais ferramentas poderia correlacionar estas duas localidades em um mesmo intervalo de tempo.

Novos insight são sempre importante na ciência, contudo cautela é necessário, pois um artigo publicado continuará sendo utilizado mesmo que outros o atualizem posteriormente.

Novamente, parabéns pelo trabalho!!

Assinatura:

Data: 16/04/2020



Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“NOVAS FORMAS PECOPTERÍDEAS DA FORMAÇÃO RIO BONITO, PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ”
Área de Concentração: Paleontologia
Autora: Fernanda Picoli Zardo
Orientador: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi
Examinadora: Profa. Dra. Rosemarie Rohn
Data: Rio Claro, 31 de março de 2020.
Conceito: A (Excelente)
PARECER:
<p>O trabalho é original, bem estruturado, bem equilibrado em termos da literatura utilizada, incluindo boas ilustrações e interpretações. Trata-se de uma contribuição importante para a Paleobotânica do Brasil. No futuro, supondo-se que mais amostras de Marattiales sejam encontradas em bacias do sul do Gondwana, a espécie apresentada pode auxiliar na interpretação da filogenia do grupo.</p> <p>No artigo submetido à publicação, falta uma boa revisão da redação em inglês. A interpretação estratigráfica é interessante, mas precisa ser investigada por métodos alternativos de correlação.</p> <p>Segue uma lista de observações ou de pequenas correções para auxiliar trabalhos futuros e instigar novas discussões.</p> <p>Pág. 1 e 2: Palavras-chave - evitar a repetição de palavras que já estão no título da dissertação, para ampliar as possibilidades de busca.</p> <p style="padding-left: 40px;">Explicar as datações absolutas.</p> <p>Pág. 3- Lista de figuras- só uma figura? Deveriam constar também as figuras do trabalho submetido à publicação.</p> <p>Pág. 6-7- Bela “Introdução”, mas numa redação rebuscada, a qual pode redundar em dúvidas para os leitores não familiarizados com o assunto.</p> <p>Pág. 9- “ permitindo a geração das camadas de carvão e argilitos ricos em matéria orgânica da Formação Rio Bonito (Limarino et al., 2014).” - Para tal informação, poderia ter sido citada alguma fonte brasileira, já que inúmeros autores se dedicaram ao assunto.</p> <p>Pág. 9, último parágrafo - “As folhagens de pteridófitas (samambaias) presentes na Bacia do Paraná no Permiano incluem os táxons <i>Pecopteris paranaensis</i>, <i>Ponsotheca roesleri</i> e <i>Dizeugethaca bortoluzzi</i>”: o início da frase não está totalmente coerente, já que: 1. a priori, <i>Pecopteris</i> é folhagem não necessariamente de pteridófitas, mas eventualmente de pteridospermas; 2. <i>Ponsotheca</i> e <i>Dizeugethaca</i> são gêneros estabelecidos de acordo com suas estruturas reprodutivas e não conforme as folhagens. <i>Ponsotheca</i> possui folhagem</p>

do tipo *Sphenopteris*.

Pág. 13- “Nos afloramentos dessa região predominam maciços de 2 a 4 m de espessura. Camadas de carvão com pouca espessura, de 1 a 10 cm, ocorrem na base da sucessão de lamito siltoso. ...” - a) A designação “maciços” é aqui usada no sentido de “camadas”? b) “base da sucessão”- as palavras “base” e “topo” designam superfícies em duas dimensões, não camadas.

Págs. 12-13: faltam dados de localização do afloramento (pontos de referência, coordenadas); a descrição poderia estar em outro capítulo separado, não em “Material e Métodos”.

Págs. 13-14: Cabem críticas similares. E são necessárias pequenas revisões quanto às designações das estruturas sedimentares (e.g., argilitos não podem ter estratificação plano-paralela, devendo-se usar o termo “estratificação” apenas para as litologias da granulação areia ou mais grossa; o que são “estruturas do tipo onda”?).

Pág. 16, segundo parágrafo: “Os esporângios maduros são livres do ápice à base onde são unidos por uma região central, ocorrendo de 4 a 5 esporângios por sinângio.” - A descrição seria mais adequada se considerasse as estruturas da parte proximal para a distal, ou seja, da base para o ápice.

Pág. 16, quarto parágrafo: “Oscar Rösler (1972)” - seria melhor apenas “Rösler (1972)”.

Pág. 17, primeiro parágrafo: “...do qual Rösler obteve seus espécimes” - neste caso, poderia ser “Oscar Rösler” ou “Rösler (1972)”.

Págs. 18-19: Em todas as menções de datações absolutas, recomenda-se citar o que foi datado (cinzas vulcânicas?), o método de datação e outros dados. Por mais acurados que tenham sido os métodos de datação, análises feitas em diferentes laboratórios fornecem diferentes idades, de modo que correlações estratigráficas baseadas em idades absolutas podem não ser inteiramente confiáveis. Todas as amostras datadas deveriam ter passado por processamentos absolutamente iguais desde a coleta, até as análises estatísticas dos resultados, para que, pelo menos, fossem possíveis comparações relativas confiáveis entre as amostras (“amostra “X” mais antiga do que amostra “Y” e esta mais antiga do que a amostra “Z”). Já foram publicadas datações absolutas as mais discrepantes possíveis na Bacia do Paraná e, até hoje, não há consenso. Dados bioestratigráficos, como correlações através da Fauna *Eurydesma*, são mais úteis para o sul do Gondwana.

A separação dos membros Triunfo e Siderópolis é bem estabelecida, havendo ainda o Membro Paraguaçu entre as duas unidades (vide trabalhos de R. Medeiros, M. Holz, J. Castro, F. Tognoli, entre muitos outros). Seriam necessárias revisões estratigráficas muito acuradas para checar a remota possibilidade de contemporaneidade deposicional entre as unidades (o que seria improvável numa bacia intracratônica, com taxa de empilhamento sedimentar muito, muito baixa). Seria mais provável que as espécies de samambaias tenham existido por tempo bem mais longo (durante a deposição dos membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis), já que elas sempre foram muito conservadoras ao longo de sua lenta evolução.

Pág.26 e demais páginas do artigo: Revisar a redação em inglês.

Pág. 28, parte inferior: As interpretações dos paleoambientes deposicionais de Holz (2003) e em Holz et al. (2010) são mais avançadas do que as de Schneider et al. (1974) e Medeiros & Thomaz filho (1973). Querendo mencionar as interpretações mais antigas, então seria melhor começar por elas e depois mencionar interpretações mais novas (obedecer a ordem cronológica das publicações). No caso das interpretações de Holz (2003), caberia um detalhamento para cada membro.

Esta frase não faz sentido: “Lithostratigraphy related facies of Rio Bonito Formation is classified as Tubarão Supergroup and Guatá Group (Bernardes-de-Oliveira et al. 2016).” O mais correto seria algo como: “The Rio Bonito Formation corresponds to the lower part of the Guatá Group and this unit belongs to the upper part of the Tubarão Supergroup.”

Pág. 33: “Systematic Paleobotany” ou “Systematics”

Pág. 34: Genus *Asterotheca* (não “Genera”)

Pág. 35, em “Diagnosis”: Checar a forma “lanceolated”, tendo em vista “parallel margins until the round apex”. O ápice seria melhor descrito como “acute”. Checar “digitiforms”. Inverter a frase: “mature sporangia free from the apex to the base where are united by a central region” (a descrição ficaria melhor se fosse da parte proximal para a distal).

Pág. 35, em “Description”: em parte, cabem observações similares às apresentadas para a diagnose.

São necessários maiores esclarecimentos para a frase: “Margins present parallel edges and pinnae form angles between 43.6° and 77.1° .”

Na passagem das páginas 35 para 36: “format ... reach smaller sizes”-provavelmente refere-se a uma pequena diminuição de largura (“the shape ... gets narrower”).

Pág. 36: a venação é visível nas pínulas férteis?

Checar “this later”.

Checar “one lifting like 3D”

Boulbous shaped sporangia em “diagnosis” x “oval shape” em “description”.

Pág.38: spp. (não deve ser em itálico)

Págs. 38-39: ao realizar comparações entre espécies, elas devem partir da ótica dos fósseis estudados no trabalho em comparação com os outros táxons (assim, por exemplo, a frase “synangia are pentasporangiate in *A. feruglioi* while in our specimens they are tetrasporangiate” ficaria melhor como “*A. roesleri* presents tetrasporangiate synangia, whereas *A. feruglioi* has pentasporangiate ones”).

Pág. 40, legenda da “Figure 2”: corrigir “punnules” e também revisar a redação em inglês.

Pág. 43, legenda da “Figure 4”: explicar melhor: “with pinnules folded beside longitudinally (left side)”.

Apagar “(arrow)” da legenda “(C)” e escrever, para a legenda “(D)”: detail of synangia pointed by arrow in Figure C. Idem respectivamente para as legendas de

“(E)” e “(F)”.

Pág. 45, legenda de “Figure 5”: na coleção paleobotânica do IGc-USP, a sigla GP/3E refere-se à primeira numeração das amostras logo após a coleta e a sigla GP/3T refere-se à numeração definitiva recebida apenas pelas amostras estudadas, selecionadas e citadas em publicações; portanto, “GP/3E 366a” pode ser apagado, valendo “GP/3T 86aB”. Idem para as outras amostras (vide também a lista das amostras da página 34).

Pág. 49, em “Diagnosis”: Checar “pinnules close each other, set at nearly right angles”, pois nos espécimes ilustrados, as pínulas estão inseridas aos raques segundo ângulos um pouco menores que 90°.

Em “Description”: checar “lanceolated format”.

Pág. 50 e 53: Atenção- *Pecopteris taguaiensis* ocorre apenas na Formação Teresina (=Formação Corumbataí conforme a classificação litoestratigráfica comumente usada no Estado de São Paulo), provavelmente no Roadiano (Guadalupiano Inferior= Permiano Médio).

Outras espécies citadas de Rohn & Rösler (1986) são, de fato, da Formação Rio do Rasto, mas não de sua porção mais alta e, sim, provavelmente, do Wordiano, no máximo Capitaniano (respectivamente Guadalupiano médio e superior, também Permiano Médio). Esclarecimento: na época da publicação de Rohn & Rösler (1986), o Permiano era dividido em apenas “Inferior” e “Superior”, de modo que as formações Teresina e Rio do Rasto eram atribuídas ao Permiano Superior; a partir de 2000, o Permiano passou a ser dividido em Cisuraliano, Guadalupiano e Lopingiano.


Pág. 58: Na afirmação de que pecopterídeas ocorreriam apenas na parte superior da Formação Rio Bonito, está sendo assumido que os depósitos de Figueira/Cambuí seriam da parte superior da formação? O assunto já foi comentado acima, para as páginas 18-19.

Assinatura: 

Data: 31/03/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I	
Título da Dissertação/Tese:	
“NOVAS FORMAS PECOPTERÍDEAS DA FORMAÇÃO RIO BONITO, PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ”	
Área de Concentração: Paleontologia	
Autora: Fernanda Picoli Zardo	
Orientador: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi	
Examinadora: Profa. Dra. Tânia Lindner Dutra	
Data: 02/04/2020	
Conceito: 9,5	
PARECER:	
<p>A aluna atendeu as normas do mestrado com a submissão de um artigo inédito, com os dados obtidos em seu estudo, ao atestar sua participação em eventos de divulgação da ciência paleontológica em eventos científicos e ao fornecer dados adicionais obtidos ao longo do estudo. Participou ainda como co-autora de um capítulo, em livro de alcance internacional.</p> <p>Por este conjunto de aspectos demonstrou que o início de sua vida acadêmica se desenvolveu conforme o almejado e foi capaz de produzir dados inéditos para a ciência. Além disto, os vários produtos contribuem para o conhecimento dos fósseis de pteridófitas no sul do Brasil e sua relação com o ambiente pretérito.</p> <p>Aspectos mais específicos e que merecem ser revistos são apresentados em documento anexo com o objetivo de auxiliar a aluna a aprimorar alguns setores do texto e de inteira-la sobre o dia a dia do pesquisador, capaz de incentiva-la a seguir com sua qualificação, ao nível de doutorado. Não diminuem a qualidade e importância dos resultados obtidos e sim tem como intenção colaborar na sua melhor apresentação, dirimindo certos aspectos que poderiam levar a uma má compreensão, especialmente no volume da dissertação.</p>	
	
Assinatura:	Data: 02/04/2020
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	