UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

FILICÍNEAS PERMIANAS PERMINERALIZADAS DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ, NORDESTE DA BACIA DO PARANÁ

Tatiane Marinho Vieira Tavares

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Rosemarie Rohn Davies
Co-orientadora : Prof.ª Dr.ª Sheila Merlotti

Dissertação de Mestrado elaborado junto ao Programa de Pós-Graduação em Geologia – Área de Concentração em Geologia Regional, para obtenção do título de Mestre em Geologia.

Rio Claro (SP)
2007

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof[a]. Dr[a]. Rosemarie R. Davies _____

Prof. Dr. Jefferson Prado _____

Prof[a]. Dr[a]. Fresia S. R. T. Branco _____

Tatiane Marinho Vieira Tavares _____
Aluno (a)

Rio Claro, 03 de julho de 2007.

Resultado: Aprovada

À Luzinete,

Rodrigo,Jeniffer e

Adolfo

AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Processos 05/58496-5 e 05/55027-4) pelos recursos financeiros recebidos destinados à realização deste projeto.

À Profa. Dra. Rosemarie Rohn Davies pela constante orientação e amizade.

À Profa. Dra. Sheila Merlotti (UFSC) que atenciosamente esclareceu várias dúvidas e forneceu sugestões extremamente importantes para o aprimoramento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Joel Carneiro de Castro (IGCE-UNESP) e à Profa. Dra. Fresia Ricardi-Branco (IG-UNICAMP) membros da banca de Exame de Qualificação, pelas valiosas sugestões apresentadas.

Ao Prof. Dr. Norberto de Morales pela descoberta e doação das primeiras amostras de pecopterídeas de Piracicaba.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Zaine pela doação de um importante fóssil de *Tietea*.

Ao Prof. Dr. Thomas R. Fairchild e à Srta. Ivone do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do IG-USP, por conceder algumas amostras de caules utilizadas no trabalho.

À Dna. Maria da Saudade do Maranhão do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo por disponilizar também amostras de caules para estudo.

Ao Prof. Dr.Elliot W. Kitajima por conceder a utilização do MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) na ESALQ-USP (Piracicaba).

Ao amigo Luís Gustavo Ferreira de Oliveira pela confecção das imagens ao MEV.

Aos amigos Rodrigo Neregato e Robson Louis Capretz pelo auxílio nas coletas de campo.

À Sra. Suzana Rohn pelas traduções de textos em alemão, que contribuíram fundamentalmente para enriquecer o trabalho.

À minha mãe Luzinete, e meus irmãos Rodrigo e Jeniffer, que mesmo distantes foram fundamentais em mais uma etapa da minha vida.

Ao meu namorado Adolfo, que me incentivou desde o princípio e demostrou constantemente compreensão e carinho.

"Vós trabalhais para acompanhar o ritmo da terra, e da alma da terra.
Pois ser indolente é tornar-se estranho às estações e afastar-se do cortejo da vida, que avança com majestade e orgulhosa submissão rumo ao infinito."

Gibran Khalil Gibran

RESUMO

O trabalho apresenta descrições morfo-anatômicas detalhadas de pecopterídeas e caules de Psaroniales do Permiano da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo (Formação Corumbataí, Grupo Passa Dois). Quase todos os fósseis estão permineralizados por sílica com boa preservação da morfologia tridimensional e parte das células, embora estejam bastante fragmentados. As pecopterídeas, procedentes de Piracicaba, são as primeiras encontradas permineralizadas na bacia e foram classificadas como *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, *Pecopteris* sp. 1, *Pecopteris* sp. 2 e *Pecopteris* sp.3. Diversas novas características observadas em *Pecopteris taguaiensis* substanciam a proposta de uma emenda à diagnose original. Os caules permineralizados de filicíneas, procedentes de Rio Claro, Fartura, Paranapanema, Conchas, Piracicaba e Casa Branca, foram classificados como *Psaronius* cf. *P. arrojadoi* Pelourde, 1914 emend. Herbst, 1985 e *Tietea* cf. *T. singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986 (Ordem Psaroniales), sendo *Psaronius* descrito pela primeira vez para a Bacia do Paraná. Há feições nas pecopterídeas e nos caules que são interpretadas como xeromórficas, provavelmente relacionadas a escassez de água ou incidência direta de raios solares muito intensos. Esta hipótese coaduna com características de outros fitofósseis do mesmo intervalo litoestratigráfico e que fazem parte da Zona *Lycopodiopsis derbyi*, concordando também com evidências litológicas e geoquímicas.

Palavras-chave: Grupo Passa Dois, Formação Corumbataí, *Pecopteris*, Psaroniales, Permiano

ABSTRACT

Detailed morpho-anatomic descriptions of pecopterids and Psaroniales stems from the Permian of the Paraná Basin in São Paulo State (Corumbataí Formation, Passa Dois Group) are presented. Although the fossil plants are very fragmentary, they maintained their tridimensional morphology, in part, because their cells were pemineralized by silex. The pecopterids, collected in Piracicaba, are the first pemineralized leaves found in this basin. They were classified as *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, *Pecopteris* sp. 1, *Pecopteris* sp. 2 and *Pecopteris* sp. 3. Many new characteristics observed on *Pecopteris taguaiensis* substantiate a proposal of emendation to its diagnosis. The permineralized ferns stems, found in Rio Claro, Fartura, Paranapanema, Conchas, Piracicaba, and Casa Branca, were classified as *Psaronius* cf. *P. arrojadoi* Pelourde, 1914 emend. Herbst, 1985 and *Tietea* cf. *T. singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986 (Order Psaroniales). *Psaronius* is formally described for the first time in the Paraná Basin. Some characters of the pecopterids and of the stems are attributed to xeromorphism, probably related to water deficit or to strong sunlight. This hypothesis is also consistent with other previous plant fossil records for the same lithostratigraphic interval (or in the *Lycopodiopsis derbyi* Zone) and matches up well to other lithologic and geochemical evidences.

Key-words: Passa Dois Group, Corumbataí Formation, *Pecopteris*, Psaroniales, Permian.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981) e regiões de procedência dos caules de Psaroniales estudados. 25

Figura 2- Localidade Batalha (Município de Rio Claro), onde foram coletados alguns dos caules de Psaroniales estudados 25

Figura 3-A. Afloramento Batalha (Município de Rio Claro), mostrando relativa concentração de fragmentos de sílex próximo ao martelo. **B**. Vista geral do sítio fossilífero Batalha. **C**. Afloramento no Bairro Santa Terezinha (Município de Piracicaba), onde ocorrem blocos silicificados rolados com pecopterídeas, microfilos e caules de]licófitas 26

Figura 4- Localização do afloramento no Bairro Santa Tarezinha (Município de Piracicaba), onde ocorrem pecopterídeas e outros fósseis na Formação Corumbataí. 26

Figura 5- Carta estratigráfica do Permo-Carbonífero da borda leste da Bacia do Paraná nos Estados de Santa Catarina e Paraná (Rohn em preparação). Geocronologia baseada na Carta Estratigráfica Internacional do IUGS de 2000, exceto as idades escritas em itálico (mantidas conforme cartas mais antigas). Posições cronoestratigráficas dos grupos, formações e membros ajustadas de acordo com dados paleontológicos e bioestratigráficos consistentes e datações radiométricas confiáveis de unidades correlacionáveis da África. Tafofloras segundo Rösler (1978), biozonas das formações Teresina e Rio do Rasto conforme Rohn & Rösler, 2000 e associações megaflorísticas do Grupo Itararé segundo Bernardes - de - Oliveira et al. (2001). Em azul é destacado o intervalo de ocorrência de caules e folhas de samambaias permineralizados do presente estudo. 32

Figura 6- Ocorrências de pecopterídeas permianas nas regiões gondvânicas da Flora *Glossopteris*. 43

Figura 7- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT-55, equivalente à estampa 1, fig. A, B. Superfície adaxial. 57

Figura 8- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 57A, equivalente à estampa 1, fig. C, D, E. Observar a coalescência das margens de algumas pínulas. Superfície adaxial. 57

Figura 9- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT-57B, equivalente à estampa 2, fig. A, B, C, D, E. Superfície abaxial. 57

F**igura 10**- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 66B, equivalente à estampa 5, fig. A. Superfície adaxial. 58

Figura 11- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 60, equivalente à estampa 3, fig. A, B. Superfície abaxial, com cicatrizes circulares de inserção de tricomas; observar que há um alinhamento das cicatrizes em alguns trechos do ráquis. 58

Figura 12- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 71B, equivalente à estampa 4, figs, A, B, C. Superfície adaxial preservada. 58

Figura 13A- ***Pecopteris*** **sp. 1**. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 72A. Notar a coalescência das margens 69

Figura 13B- ***Pecopteris*** **sp. 1**. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 75 . 69

Figura 14- ***Pecopteris*** **sp 2**. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 73. 74

Figura 15- ***Pecopteris*** **sp. 3**. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 74G. As circunferências provavelmente correspondam a cicatrizes de tricomas. 78

Figura 16A- Vista em planta da superfície brechóide permineralizada por sílica contendo fragmentos de pinas. Escala = 10 mm. 106

Figura 16B- Vista lateral contendo clastos angulosos permineralizados por sílica (seta). Escala = 10 mm. . 106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Distribuição de *Pecopteris* nas unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná. 46

Tabela 2A- Valores medidos e calculados para *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986. As siglas correspondem a: Lp= largura da pina, Cp= comprimento da pina, Aa= ângulo do ápice da pina, Lrp= largura do ráquis da pina, Npl= número de pínulas em cada lado da pina, Pl/10 mm= pínula por centímetro, Apl= ângulo de conecção da pínula, Lpl= largura da pínula, Cpl= comprimento da pínula, Cpl/Lpl= comprimento / largura da pínula, A°vs= ângulo de emissão das veias secundárias, N°vs= número de veias secundárias em cada lado da pínula, N°vs/mm= número de veias secundárias por milímetro, Lvm= largura da veia mediana, Cvm= comprimento da veia mediana, Lvs= largura da veia secundária, Cvs= comprimento da veia secundária. 59

Tabela 2B- Valores medidos e calculados para *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986. As siglas correspondem a: Lp= largura da pina, Cp= comprimento da pina, Aa= ângulo do ápice da pina, Lrp= largura do ráquis da pina, Npl= número de pínulas em cada lado da pina, Pl/10 mm= pínula por centímetro, Apl= ângulo de conecção da pínula, Lpl= largura da pínula, Cpl= comprimento da pínula, Cpl/Lpl= comprimento / largura da pínula, A°vs= ângulo de emissão das veias secundárias, N°vs= número de veias secundárias em cada lado da pínula, N°vs/mm= número de veias secundárias por milímetro, Lvm= largura da veia mediana, Cvm= comprimento da veia mediana, Lvs= largura da veia secundária, Cvs= comprimento da veia secundária 60

Tabela 3- Comparação das análises morfométricas entre o material aqui analisado e os exemplares de Rohn & Rösler (1986) de *Pecopteris taguaiensis*. Os dados quantitativos apresentam relativa discrepância quanto à largura e ao comprimento das pinas, e ao número de pínulas em cada lado da pina, o que pode ser explicado pelo estado mais fragmentário das pinas aqui analisadas.Lp= largura da pina, Cp= comprimento da pina, Aa= ângulo do ápice da pina, Lrp= largura do ráquis da pina, Npl= número de pínulas em cada lado da pina, Pl/10 mm= pínula por centímetro, Apl= ângulo de conecção da pínula, Lpl= largura da pínula, Cpl= comprimento da pínula, Cpl/Lpl= comprimento / largura da pínula, A°vs= ângulo de emissão das veias secundárias, N°vs= número de veias secundárias em cada lado da pínula, N°vs/mm= número de veias secundárias por milímetro. 60

Tabela 4- Valores medidos e calculados para *Pecopteris* sp. 1. As siglas correspondem a: Lp= largura da pina, Cp= comprimento da pina, Aa= ângulo do ápice da pina, Lrp= largura do ráquis da pina, Npl= número de pínulas em cada lado da pina, Pl/10 mm= pínula por centímetro, Apl= ângulo de conecção da pínula, Lpl= largura da pínula, Cpl= comprimento da pínula, Cpl/Lpl= comprimento / largura da pínula, A°vs= ângulo de emissão das veias secundárias, N°vs= número de veias secundárias em cada lado da pínula, N°vs/mm= número de veias secundárias por milímetro, Lvm= largura da veia mediana, Cvm= comprimento da veia mediana, Lvs= largura da veia secundária, Cvs= comprimento da veia secundária. 69

Tabela 5- Valores medidos e calculados para *Pecopteris* sp. 2. As siglas correspondem a: Lp= largura da pina, Cp= comprimento da pina, Aa= ângulo do ápice da pina, Lrp= largura do ráquis da pina, Npl= número de pínulas em cada lado da pina, Pl/10 mm= pínula por centímetro, Apl= ângulo de conecção da pínula, Lpl= largura da pínula, Cpl= comprimento da pínula, Cpl/Lpl= comprimento / largura da pínula, A°vs= ângulo de emissão das veias secundárias, N°vs= número de veias secundárias em cada lado da pínula, N°vs/mm= número de veias secundárias por milímetro, Lvm= largura da veia mediana, Cvm= comprimento da veia mediana, Lvs= largura da veias secundária, Cvs= comprimento da veia secundária. 74

Tabela 6- Valores medidos e calculados para *Pecopteris* sp. 3. As siglas correspondem a: Lp= largura da pina, Cp= comprimento da pina, Aa= ângulo do ápice da pina, Lrp= largura do ráquis da pina, Npl= número de pínulas em cada lado da pina, Pl/10 mm= pínula por centímetro, Apl= ângulo de conecção da pínula, Lpl= largura da pínula, Cpl= comprimento da pínula, Cpl/Lpl= comprimento / largura da pínula, A°vs= ângulo de emissão das veias secundárias, N°vs= número de veias secundárias em cada lado da pínula, N°vs/mm= número de veias secundárias por milímetro, Lvm= largura da veia mediana, Cvm= comprimento da veia mediana, Lvs= largura da veias secundária, Cvs= comprimento da veia secundária. 78

Tabela 7- As siglas referam-se a: Manto rd= manto radicular, Cc= comprimento do caule, Dc= diâmetro do caule, Nº ortc.= número de ortósticas, Dm= diâmetro do meristelo, Trç. foliar= traço foliar, Dr= diâmetro da radícula, Gprx= grupos de protoxilema. 86

Tabela 8- As siglas referam-se a: Manto rd= manto radicular, Cc= comprimento do caule, Dc= diâmetro do caule, Nº ortc.= número de ortósticas, Dm= diâmetro do meristelo, Trç. foliar= traço foliar, Dr= diâmetro da radícula, Gprx= grupos de protoxilema. 95

Tabela 9- As siglas referem-se a: Manto rd.= manto radicular, Cc= comprimento do caule, Dc=diâmetro do caule, Dr= diâmetro da radícula, Gprx=grupos de protoxilema. 100

LISTA DE ESTAMPAS

Estampa 1: ***Pecopteris taguaiensis*** **Rohn & Rösler, 1986**: A- Exemplar URC PT- 55- face adaxial. B- Exemplar URC PT- 55- face adaxial, com venações finas em posição alterna. C- Exemplar URC PT- 57A- face adaxial. D, E- Exemplar URC PT- 57A- face adaxial. As setas indicam coalescência das margens das pínulas. 61

Estampa 2: ***Pecopteris taguaiensis*** **Rohn & Rösler, 1986**: A- Exemplar URC PT- 57B- face abaxial; observar o encurvamento do ápice e margens para o lada abaxial do limbo, a seta indica cicatrizes de tricomas. B- Exemplar URC PT- 57B- face abaxial, mostrando distribuição e organização das veias secundárias e mediana da pínula. C- Exemplar URC PT- 57B- imagem ao MEV de molde de látex da superfície abaxial de uma das pínulas. D- Exemplar URC PT- 57B- MEV das células epidérmicas que constituíam a venação mediana da pínula. E- Exemplar URC PT- 57B- detalhe da forma alongada e retangular das células epidérmicas da venação mediana, observadas através do MEV. 62

Estampa 3: ***Pecopteris taguaiensis*** **Rohn & Rösler, 1986**:A- Exemplar URC PT- 60- face abaxial, com ápice do limbo da pínula encurvado para a face abaxial. As setas indicam cicatrizes de tricomas. B- Exemplar URC PT- 60- detalhe das veias medianas e secundárias. Notar que as veias secundárias próximas ao ápice não apresentam bifurcação. 63

Estampa 4: ***Pecopteris taguaiensis*** **Rohn & Rösler, 1986**: A- Exemplar URC PT-71B- face adaxial. B- Exemplar URC PT-71B - detalhe do ápice da pina com formato triangular e pínulas coalescidas. C- Exemplar URC PT-71B- detalhe do corpo da pina; as pínulas medianas têm margens livres desde a base. Veia mediana pouco marcada. 64

Estampa 5: ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler 1986: A- Exemplar URC PT- 66B- face adaxial. Notar o ápice de formato triângular. B- Lâmina petrográfica URC PT- 70 de corte transversal de três pínulas. Observar a espessura do limbo foliar. 65

Estampa 6: ***Pecopteris*** **sp.1**: A- Exemplar URC PT- 72A- face adaxial. B- Detalhe do exemplar URC PT- 72A , em imagem ao MEV do molde de látex da superfície adaxial. C- Epiderme da área intervenal adaxial de uma pínula do exemplar URC PT- 72A, obtida em molde de látex pelo MEV. D- Exemplar URC PT- 72A- detalhe da forma das células epidérmicas da letra C, obtida pelo MEV. 70

Estampa 7: ***Pecopteris*** **sp.1**: A- Exemplar URC PT- 72A- face adaxial. Observar a coalecência adaxial entre algumas pínulas, o calibre fino das veias medianas e secundárias e o trajeto retilíneo das veias secundárias em direção à margem. Ráquis caracterizado por sulco estriado na superfície adaxial. B- Exemplar URC PT- 75 - provável impressão da face adaxial. 71

Estampa 8: ***Pecopteris*** **sp. 2**: A- Exemplar URC PT- 73- face adaxial. B- Exemplar URC PT- 73 - células epidérmicas da área intervenal, observadas com auxílio do MEV, em molde de látex. C- Exemplar URC PT- 73- formas levemente sublosangulares a subquadradas das células epidérmicas intervenais, observadas com auxílio do MEV. 75

Estampa 9: ***Pecopteris*** **sp. 3**: A- Exemplar URC PT- 74G- face adaxial; a pínula destacada apresenta cicatrizes circulares de possíveis tricomas. B- Exemplar URC PT- 74G- cicatrizes observadas com auxílio do MEV. C-D- Exemplar URC PT- 74G- detalhes das cicatrizes, observadas com auxílio do MEV. E- Exemplar URC PT- 74G- células epidérmicas, com a forma levemente elíptica, da área intervenal de uma outra pínula. 79

Estampa 10: ***Tietea*** **cf.** ***Tietea singularis*** **Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**: A- Exemplar URC PT- 76. Vista longitudinal de uma porção do estelo. B- Detalllhe de URC PT- 76, mostrando alguns meristelos, centralmente o metaxilema. C- Detalhe de B, o metaxilema pouco preservado, observado em lâmina petrográfica. D- Exemplar URC PT- 76. Vista lateral. 87

Estampa 11: ***Tietea*** **cf.** ***Tietea singularis*** **Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**: A- Exemplar URC PT- 77. Vista transversal do fragmento .B- Vista de corte transversal de A, mostrando a proção do estelo com meristelos. C- Detalhe dos tecidos que compõem os meristelos, protoxilema (seta), metaxilema (a), esclerênquima (b) do exemplar URC PT- 77. D- Seção longitudinal mostrando os traqueídeos com possíveis espessamentos helicoidal (seta) de um meristelo, vistos em lâmina petrográfica. 88

Estampa 12: ***Tietea*** **cf.** ***Tietea singularis*** **Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**: A- Exemplar URC PT- 78. Vista de corte transversal, com estelo e manto radicular. B- Detalhe da forma dos meristelos com o metaxilema evidente, do exemplar URC PT- 78. C- Saída de uma radícula do estelo em direção ao manto radicular (seta), vista em lâmina petrográfica. D, E- Detalhe do actinostelo das radículas com cinco (D) e três (E) grupos de protoxilema (seta) do exemplar URC PT- 78. 89

Estampa 13: *Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach. 1913 emend. Herbst, 1986: A- Exemplar URC PT-79. Vista lateral do estelo. B- Seção transversal detalhando o formato e divisão (seta) dos meristelos, no exemplar URC PT-79. C- Detalhe de um meristelo em seção transversal, com metaxilema (a) e esclerênquima (b) preservados, visto em lâmina petrográfica. 90

Estampa 14: *Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986: A- Exemplar URC PT-80. Vista de corte transversal do caule; notar a região do anel esclerenquimático provavelmente interrompido e radículas comprimidas lateralmente que estão sendo emitidas para o manto radicular (seta). B- Detalhe da radícula atravessando o anel esclerenquimático (seta) do estelo em direção ao manto radicular, no exemplar URC PT-80. C- Detalhe das radículas do exemplar URC PT-80, localizadas próximas ao estelo; elas são mais alongadas e comprimidas lateralmente e não apresentam seus tecidos preservados. 91

Estampa 15: T*ietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986: A- Exemplar IG/USP-GP/3E-289. Vista de corte transversal do estelo e manto radicular. Presença de bandas esclerenquimáticas no interior do estelo (setas). B- Detalhe de um meristelo com metaxilema (a) e esclerênquima e parenquima (b) preservados, no exemplar IG/USP-GP/3E-289. C- Seção transversal evidenciando a passagem de uma radícula do estelo para o manto radicular, no exemplar IG/USP-GP/3E-289, observada em lâmina petrográfica. 92

Estampa 16: *Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986: A- Detalhe do manto radicular do exemplar IG/USP-GP/3E-289. As células do parênquima cortical apresentam forma retangular e circular (setas) próximo ao anel esclerenquimático. Existem poucas células parenquimáticas (a) no interior do anel esclerenquimático. Seção transversal. B- Seção transversal do protoxilema (a) e metaxilema (b) do actinostelo de uma radícula, para o mesmo exemplar. C- Seção longitudinal do manto radicular, com traqueídeos mal preservados (seta) e células parenquimáticas, em lâmina petrográfica. 93

Estampa 17: *Psaronius* cf. *Psaronius arrojadoi* Pelourde, 1914 emend. Herbst, 1985: A- Exemplar IG/SMA-4. Vista de corte transversal do estelo. B- Vista lateral do estelo do exemplar IG/SMA-4. C- Vista de corte transversal do estelo, com meristelos tabulares, do exemplar IG/SMA-4. D- Vista de corte transversal do estelo, com meristelos de vários formatos (setas), próximos ao centro, sem tecidos preservados. 96

Estampa 18: Psaroniales Corsin, 1955. Gen. et sp. indet.: A- Exemplar IG/USP-GP/3E-290. Vista de corte transversal mostrando o manto radicular. B- Exemplar IG/USP-GP/3E-290. Lâmina petrográfica de corte transversal do manto radicular; observar o parênquima cortical com células circulares próximas à radícula, e retangulares mais ao centro do parênquima. Radículas com o anel esclerenquimático interrompido. C- Detalhe do parênquiama cortical de B e células esclerenquimáticas formando o anel (seta). D-Exemplar IG/USP-GP/3E-290. Actinostelo com cinco grupos de protoxilema (a) e metaxilema (b) mal preservados . E-Exemplar IG/USP-GP/3E-290. Lâmina petrográfica longitudinal. Traqueídeos com espessamentos helicoidal (seta). 101

Estampa 19: Psaroniales Corsin, 1955. Gen. et sp. indet.: A-Exemplar IG/SMA-278v. Vista transversal. Manto radicular e estelo mal preservado na porção demarcada. B- Detalhe das radículas do manto radicular da letra A, sem tecido parenquimático cortical, intracortical e actinostelo preservados. Vista de corte transversal. C- Exemplar IG/SMA-46v. Porção do manto radicular. Vista de corte transversal. D- Detalhe das radículas da letra C, sem tecidos preservados. Vista de corte transversal. 102

Estampa 20: **Psaroniales Corsin, 1955. Gen. et sp. indet**.: A- Exemplar URC PT- 81. Vista de corte transversal do exemplar. B-Passagem de algumas radículas para o manto radicular (seta). C- Seção longitudinal destacando os traqueídeos com espessamentos helicoidal do actinostelo. 103

Estampa 21: Psaroniales Corsin, 1955. Gen. et sp. indet.: A- Exemplar IG/USP-IV-49-6. Vista de corte transversal do manto radicular; notar que as radículas são ligeiramente alongadas e comprimidas lateralmente. B- Detalhe de A; o manto radicular não apresenta tecidos preservados. C- Exemplar IG/USP-GP/3E-298. Vista transversal do manto radicular; radículas ligeiramente alongadas e comprimidas. D- Vista lateral do exemplar IG/USP-GP/3E-298. E- Detalhe de C, mostrando as radículas, com interrupção no anel esclerenquimático (setas), em lâmina petrográfica. 104

Estampa 22: Psaroniales Corsin, 1955. Gen. et sp. indet.: A- Exemplar IG/USP-GP/3E-299. Vista de corte transversal do manto radicular. Notar que as radículas são ligeiramente alongadas e comprimidas lateralmente. B- Detalhe de A, tecido pouco preservado, radículas com o anel esclerênquimático interrompido (setas), em lâmina petrográfica. C- Exemplar IG/USP-GP/3E- 7474. Vista de corte transversal do manto radicular. Notar que as raízes são

circulares e não estão comprimidas lateralmente. D- Detalhe de C, os tecidos não se preservaram. 105

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 21

2. OBJETIVOS 23

3. MATERIAIS E MÉTODOS 24

3.1. Localização geográfica das ocorrências fossilíferas 24

3.2. Material 27

3.3. Preparo laboratorial das pinas/pínulas 27

3.3.1. Trabalho mecânico 27

3.3.2. Confecção de Lâminas petrográficas delgadas das pínulas 28

3.3.3. Preparo laboratorial dos caules 28

3.3.3.1. Trabalho mecânico 28

3.3.3.2. Confecção de lâminas delgadas dos caules 28

4. GEOLOGIA DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ 29

4.1. Bacia do Paraná 29

4.2.Litoestratigrafia 30

4.3. Paleontologia 33

4.4. Bioestratigrafia 35

4.5. Paleoambientes 36

4.6. Cronoestratigrafia 38

5. CONSIDERAÇÕES SOBRE PINAS E PÍNULAS DE VEGETAIS PERMO-CARBONÍFEROS (TAXONOMIA E REGISTROS NO GONDVANA) 41

5.1. Pteridophylla 41

5.2. *Pecopteris* 41

5.3. Pteridófilas e Pteridófitas do Gondvana 42

5.3.1. Brasil – Baia do Paraná 42

5.3.2. Brasil – Bacia do Parnaíba 47

5.3.3. Argentina 47

5.3.4. Bolívia 48

5.3.5. África 48

5.3.6. Índia 49

5.3.7. Turquia 49

6. RESULTADOS TAXONÔMICOS E SISTEMÁTICOS DAS PÍNULAS 51

7. CONSIDERAÇÕES SOBRE CAULES DE FILICÍNEAS ARBÓREAS PERMO-CARBONÍFERAS 80

8. PALEONTOLOGIA E SISTEMÁTICA DOS CAULES DE FILICÍNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 83

9. TAFONOMIA 106

10. PALEOECOLOGIA E PALEOCLIMA 109

11. BIOESTRATIGRAFIA 117

12. CONCLUSÕES 118

13. REFERÊNCIAS 121

1. INTRODUÇÃO

O estudo trata de pecopterídeas e de caules de filicíneas arbóreas fósseis do Permiano da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. As filicíneas são relativamente abundantes no registro fóssil desde o Carbonífero até o presente. Atualmente, cerca de ¾ destes vegetais encontram-se nos trópicos (Raven et al., 2007). Apresentam grande interesse evolutivo, florístico e paleofitogeográfico, além de algumas espécies já extintas terem contribuído na gênese de carvão.

Pecopteris é uma designação usada para determinadas folhas fósseis que apresentam aparência de fronde, pina ou pínula de filicíneas, mas que poderiam também ser atribuídas a pteridospermas (grupo de gimnospermas extintas no Cretáceo). Tais folhas constituem um belo exemplo de convergência adaptativa entre classes vegetais distintas, sendo apenas possível reconhecer a sua afinidade botânica quando estruturas reprodutivas se mantêm conectadas às folhas ou em alguns outros casos especiais. Desta forma, *Pecopteris* não é um gênero natural, mas um morfo-gênero que ocorre em estratos de diversas idades e localidades de todo o globo. *Pecopteris* e outros morfo-gêneros com aspecto de filicíneas são englobados num grupo artificial denominado "Pteridophylla" proposto por Nathorst (apud Boureau & Doubinger, 1975).

Pecopterídeas são relativamente comuns nos depósitos permianos da Baciado Paraná. As únicas descrições detalhadas anteriores de *Pecopteris* do Estado de São Paulo referem-se a exemplares de Laras e Taguaí, encontrados em afloramentos da Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois (Rigby, 1968; Rohn & Rösler, 1986).

Todas as pteridófilas e folhas de filicíneas já descritas da Bacia do Paraná estão preservadas como compressões ou impressões. No Município de Piracicaba (SP), em área aflorante da Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois, Permiano Médio), ocorrem as únicas pecopterídeas permineralizadas por sílica até agora conhecidas na Bacia do Paraná (Rohn & Morales, 1997). Estes fósseis, anteriormente apenas noticiados, porém não descritos, constituem um dos assuntos da presente dissertação.

Caules de filicíneas também são muito pouco conhecidos na Bacia do Paraná. Estudos detalhados de caules de filicíneas arborescentes podem ser realizados somente quando estão permineralizados por sílica. A priori, a única espécie válida anteriormente descrita na bacia, em território nacional, é *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913, da Formação Corumbataí. A maioria dos trabalhos anteriores baseia-se em fragmentos permineralizados do manto radicular,

sem descrições anatômicas detalhadas dos estelos. Na presente dissertação, novas amostras da Formação Corumbataí, um pouco melhor preservadas, são descritas.

Em geral, a preservação tridimensional dos fitofósseis permitiu realizar análises morfo-anatômicas detalhadas. Suas características incluem elementos para discussão sobre a paleoecologia dos vegetais e as condições paleoclimáticas na região da Bacia do Paraná.

2. OBJETIVOS

- Aprimoramento da descrição e da classificação taxonômica dos fragmentos de caules e pinas/pínulas permineralizados da Formação Corumbataí, no Estado de São Paulo, incluindo análises morfológicas e anatômicas.
- Realização de interpretações paleoecológicas, paleoclimáticas e paleofitogeográficas de acordo com os fitofósseis estudados e outros dados disponíveis.
- Posicionamento das ocorrências dos fósseis na coluna estratigráfica da Formação Corumbataí e na Zona *Lycopodiopsis derbyi*.
- Discussão, quando possível, da tafonomia dos fósseis analisados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Localização geográfica das ocorrências fossilíferas

Quanto à procedência dos caules de filicíneas permineralizadas por sílica do presente trabalho, eles foram encontrados nos seguintes municípios do Estado de São Paulo: Rio Claro, Conchas, Piracicaba, Fartura, Paranapanema, Angatuba e Casa Branca (Fig. 1).

Não se conhece a procedência exata de cada caule, pois a maioria encontrava-se em coleções paleontológicas, sem dados precisos. Presume-se que todos sejam realmente da Formação Corumbataí e que provavelmente se encontravam como material rolado sobre o solo e não *in loco* em rochas sedimentares.

No ano de 2005, foram coletados três caules adicionais na região de Batalha, Município de Rio Claro (UTM 7525,2 km N/233,15 km E ou 22°21,5'S/47°35,4'W) (Fig. 2), também encontrados rolados sobre o solo (Fig. 3A, B).

As pinas/pínulas pecopterídeas permineralizadas, foram encontradas a noroeste do centro de Piracicaba, a pequena distância de um novo loteamento, situado no bairro Santa Terezinha de Piracicaba, Estado de São Paulo (UTM 7490,7 km N/222,0 km E ou 22^{0}40'S/47º42,4'W), próximo ao topo da Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, Permiano Médio) (Fig. 4). O acesso ao local pode ser feito pela rodovia SP 304. O afloramento principal está coberto por vegetação herbácea e arbórea, ainda em área rural, mas em breve pode desaparecer, devido à expansão da área urbana (Fig. 3C).

Trata-se da única ocorrência conhecida de pínulas pecopterídeas permineralizadas por sílica da bacia. Na mesma localidade também ocorrem microfilos de licófitas permineralizados por sílica, assim como, ostracodes, escamas e fragmentos ósseos de peixes. Todas as amostras foram encontradas roladas sobre o solo, não ultrapassando 30 cm de comprimento e 10 cm de espessura. Provavelmente derivaram de uma porção silicificada intercalada a carbonatos compactos que foram parcialmente alterados por intemperismo. As amostras coletadas são brechas constituídas por pequenos fragmentos de sílex e fragmentos de vegetais permineralizados.

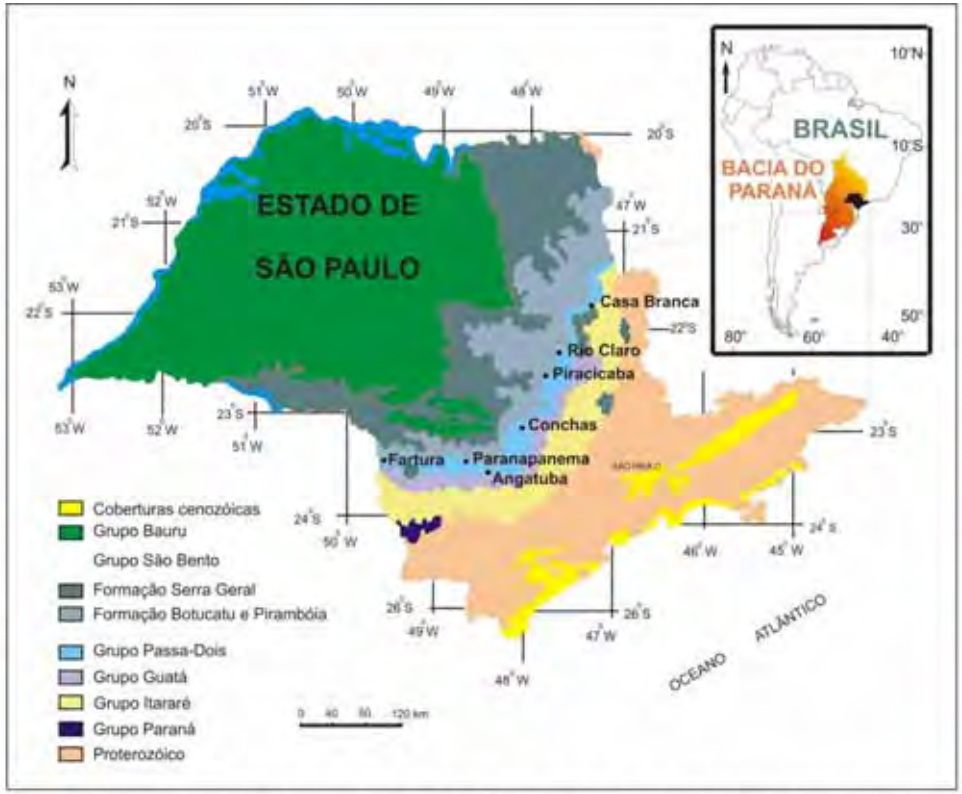


Figura 1- Mapa geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981) e regiões de procedência dos caules de Psaroniales estudados.

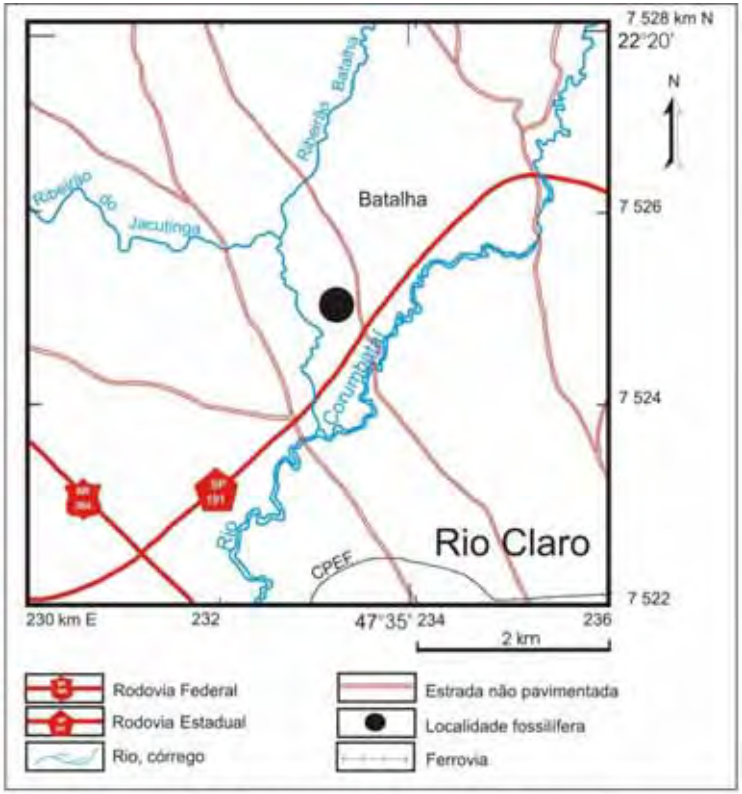


Figura 2- Localidade Batalha (Município de Rio Claro), onde foram coletados alguns dos caules de Psaroniales estudados.

Figura 3- A. Afloramento Batalha (Município de Rio Claro), mostrando relativa concentração de fragmentos de sílex próximo ao martelo. **B.** Vista geral do sítio fossilífero Batalha. **C.** Afloramento no Bairro Santa Terezinha (Município de Piracicaba), onde ocorrem blocos silicificados rolados com pecopterídeas, microfilos e caules de licófitas.

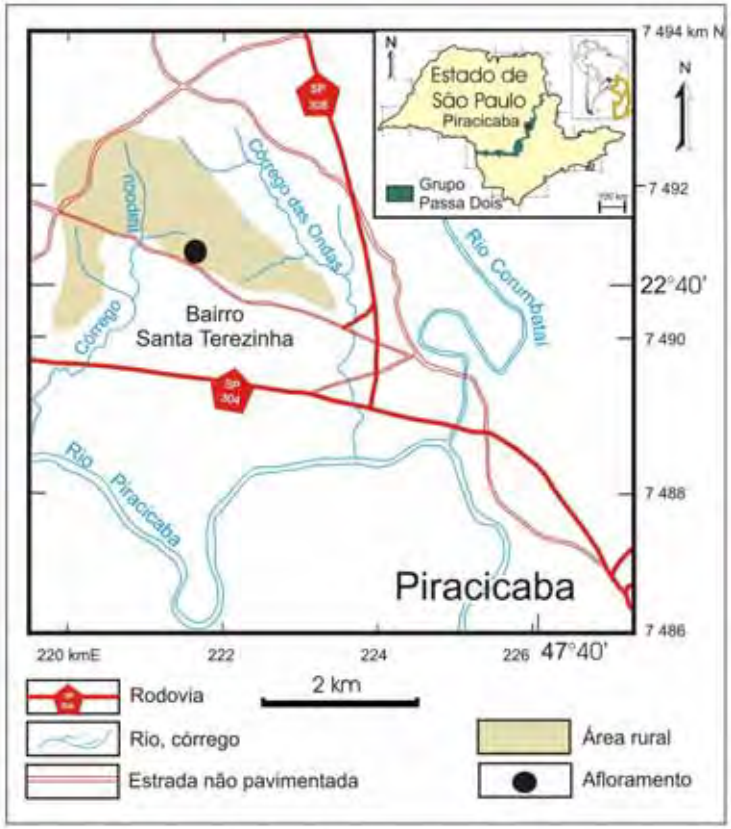


Figura 4- Localização do afloramento no Bairro Santa Terezinha (Município de Piracicaba), onde ocorrem pecopterídeas e outros fósseis na Formação Corumbataí.

3.2- Material

Foram coletados 30 fragmentos de pinas e pínulas pecopterídeas permineralizados por sílica e uma pina preservada como impressão. Elas foram incorporadas à coleção paleontológica da UNESP – Rio Claro (Museu de Paleontologia e Estratigrafia Professor Paulo Milton Barbosa Landim), registradas como URC PT 55 a 75.

Em relação aos caules permineralizados por sílica de filicíneas, 19 amostras foram analisadas, listadas a seguir conforme a coleção paleontológica e procedência:

Coleção do IGCE/UNESP:

- Oito caules da região de Batalha, no Município de Rio Claro, incorporados à coleção paleontológica da UNESP – Rio Claro (Museu de Paleontologia e Estratigrafia Professor Paulo Milton Barbosa Landim), registrados como URC PT 76 a 83.

Coleção do IG/USP:

- Seis fragmentos de caules. Cinco coletados na região de Fartura; entre os cinco, três foram coletados às margens da Represa Xavantes. Os códigos são os seguintes: GP/3E 298, GP/3E 299, GP/3E 290, GP/3E 7474, GP/3E 289.
- Um fragmento sem indicação da localidade de coleta, numerado como VI- 49-6.

Coleção do IG/SMA (estes caules foram disponibilizados para estudo, porém foi vedada a confecção de cortes e lâminas).

- Um caule de Paranapanema (278v), um de Conchas (6), um de Piracicaba (46 v), um de Casa Branca (4) e um Rio Claro (93v).

3.3- Preparo laboratorial das pinas/pínulas

3.3.1-Trabalho mecânico

As pinas/pínulas permineralizadas por sílica foram primeiramente preparadas por vias mecânicas para remover a matriz que as recobria. Foram utilizadas agulhas, pequenas talhadeiras, finos marteletes elétricos, pequenas brocas, esmeris diamantados, jato de óxido de alumínio e tanque de ultrassom para remoção de sedimentos.

Utilizou-se um esteremicroscópio Leica MZ8 (aumentos de até 100 x) para a preparação das amostras e a sua análise, incluindo a confecção de esquemas com câmera clara, obtenção de fotografias com câmera Nikon e de imagens digitais com câmera Canon acoplada ao equipamento e ao computador.

Foram confeccionados moldes de látex Zhernack (Oranwash) e Ruthinium Group (Activator / Pasta Indurente) (material utilizado na preparação de moldes dentários) das pinas para a reprodução detalhada das suas estruturas. Os moldes permitiram a obtenção de boas imagens da epiderme ao Microscópio Eletrônico de Varredura da ESALQ-USP em Piracicaba. Concomitantemente a estas etapas de preparação de amostras, moldes e a obtenção de imagens, realizou-se a descrição morfológica das pinas/pínulas, obedecendo os critérios em Rohn & Rösler (1986).

3.3.2-Confecção de lâminas petrográficas delgadas das pínulas

Algumas amostras de pínulas isoladas foram selecionadas para a confecção de lâminas petrográficas no Laboratório de Laminação do IGCE/UNESP. Foram feitas sete lâminas, das quais apenas quatro permitiram visualizar bem o material.

As lâminas petrográficas foram confeccionadas conforme os procedimentos normais usados para rochas, com espessuras de 35 µm.

3.3.3- Preparo laboratorial dos caules

3.3.3.1- Trabalho mecânico

Os caules permineralizados por sílica, após limpeza preliminar com água e sabão, foram primeiramente descritos, sem preparação. Todos eles foram fotografados em diversas posições, com as câmeras acima citadas.

3.3.3.2- Confecção de lâminas delgadas dos caules

Alguns caules foram selecionados para a confecção de lâminas petrográficas. O Laboratório de Laminação do IGCE/UNESP confeccionou 32 lâminas conforme os procedimentos usuais.

As lâminas foram examinadas no microscópio Zeiss ICs Standard 25, disponível na sala da orientadora e foi possível o reconhecimento de todas as feições anatômicas dos caules bem preservados. Os dados morfométricos foram obtidos com escala micrométrica acoplada à ocular.

As análises obedeceram os critérios apresentados em Rößler (2000), Rößler & Galtier (2002a, b), Rößler & Galtier (2003) e Nehls (2004).

Na fase seguinte, conforme as características dos caules, foram realizados cortes com serra diamantada no Laboratório de Laminação do IGCE/UNESP (exceto as amostras do IG/SMA). Os caules foram serrados na orientação transversal e longitudinal e, conforme a situação, estas seções foram preliminarmente polidas com carburundum 500. O polimento final foi realizado por uma marmoraria, em Rio Claro, com equipamento Bosch portátil. Tais superfícies polidas foram novamente analisadas ao estereomicroscópio e fotografadas. Cabe salientar-se que esta última etapa foi realizada principalmente para os caules que não apresentaram boa preservação dos seus tecidos na lâmina petrográfica. Em alguns casos, obteve-se maior sucesso nas análises das superfícies polidas do que das lâminas petrográficas.

Além dos procedimentos usuais na Paleontologia, ou seja, as descrições dos caules e folhas, confecção de esquemas e de fotografias, comparações com fósseis da literatura, classificações taxonômicas, foram especialmente investigadas feições que possam dar alguma indicação de paleoclima, tais como adaptações xeromórficas.

O estudo requereu conhecimento de toda a literatura (nacional e do exterior) sobre filicíneas, especialmente as paleozóicas. Todos os principais dados de trabalhos publicados foram organizados em fichário.

4. GEOLOGIA DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ

4.1. Bacia do Paraná

A bacia sedimentar do Paraná situa-se no centro-leste da América do Sul, abrangendo uma área de 1.600.000 km^2 (Petri & Fulfaro, 1983). Foi desenvolvida totalmente sobre a crosta continental no sudeste da Placa Sul-Americana, abrangendo partes do território brasileiro, paraguaio, uruguaio e argentino, onde a porção brasileira dessa bacia representa aproximadamente 79% de toda a área de extensão (Zalán et al., 1990). A maior parte dos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul situam-se nessa bacia, além de pequena parte do sudoeste de Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e sul de Goiás (Petri & Fulfaro, 1983).

Trata-se de uma bacia preenchida por quase 5.000 m de sedimentos paleozóicos, mesozóicos, lavas basálticas e localmente rochas cenozóicas (Schneider et al., 1974).

Milani (1997) propôs seis grandes seqüências deposicionais, sendo que os fósseis estudados no presente trabalho fazem parte da seqüência Carbonífera-Eotriássica.

No capítulo 4.6 são discutidas as idades dos depósitos fossilíferos, podendo-se adiantar que a seqüência corresponde, na realidade, ao Permo-Carbonífero.

4.2. Litoestratigrafia

A Formação Corumbataí, onde foram coletadas as pinas/pínulas e os caules permineralizados, é uma unidade permiana pertencente ao Grupo Passa Dois (Fig. 5). Conforme a classificação litoestratigráfica de Schneider et al. (1974), adotada no presente trabalho, este grupo subdivide-se nas formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto na porção sul da bacia e nas formações Irati e Corumbataí nos Estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso.

Alguns autores Sousa (1985) e Sousa et al. (1991) adotaram classificações ligeiramente distintas, onde a Formação Corumbataí corresponderia aproximadamente à Formação Estrada Nova.

Na área de afloramentos, próximo à divisa entre os estados do Paraná e São Paulo, as formações Serra Alta e Teresina somam cerca de 350 m (Rohn, 1994). Rumo a nordeste, correspondendo a regiões mais próximas à paleoborda da bacia, a espessura diminui significativamente. Por exemplo, na região de Rio Claro, a Formação Corumbataí mal alcança 80 m de espessura.

Conforme Beurlen (1955) a Formação Corumbataí representaria uma sucessão incompleta da borda nordeste e norte da Bacia do Paraná, ao passo que, nas regiões meridional e central teria ocorrido sedimentação completa e contínua, propiciando melhor desenvolvimento das “camadas” Serra Alta e Teresina.

Na região nordeste/norte do Estado de São Paulo, a Formação Corumbataí restringe-se a intervalos de apenas alguns metros e acaba desaparecendo (Rohn, 1994). O Grupo Passa Dois é sobreposto discordantemente pela Formação Pirambóia, de provável idade triássica.

Os estudos estratigráficos e litológicos detalhados a respeito das formações Serra Alta, Teresina e Corumbataí foram realizados por Sousa (1985), Sousa et al. (1991) e recentemente

por Lourenço (2002), Rohn et al. (2003) e Meglhioratti (2006). Em resumo, as principais litologias destas unidades são rochas heterolíticas de argilitos/siltitos e arenitos muito finos com acamamento *wavy*, lenticular e *flaser*, normalmente organizadas em sucessões métricas granocrescentes ascendentes, podendo apresentar gretas de contração e estar sobrepostas por arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky* ou "*microhummocky*". Na base das sucessões normalmente ocorrem folhelhos argilosos. Há freqüentes intercalações de carbonatos submétricos, tanto micritos maciços a laminados, quanto oosparitos com estratificações cruzadas, mais raramente brechas carbonáticas e calcários constituídos por estromatólitos. Outras litologias importantes, geralmente com espessuras centimétricas, são coquinas de bivalves, microfilos e *bone beds* de escamas e dentes de peixes.

Icnofósseis simples e pouco diversificados são bastante comuns nas rochas heterolíticas. Uma ocorrência excepcional corresponde a *Thalassinoides*, encontrado em furo de sondagem e afloramento no nordeste do Estado do Paraná (Rohn et al., 2004; Meglhioratti, 2005, 2006).

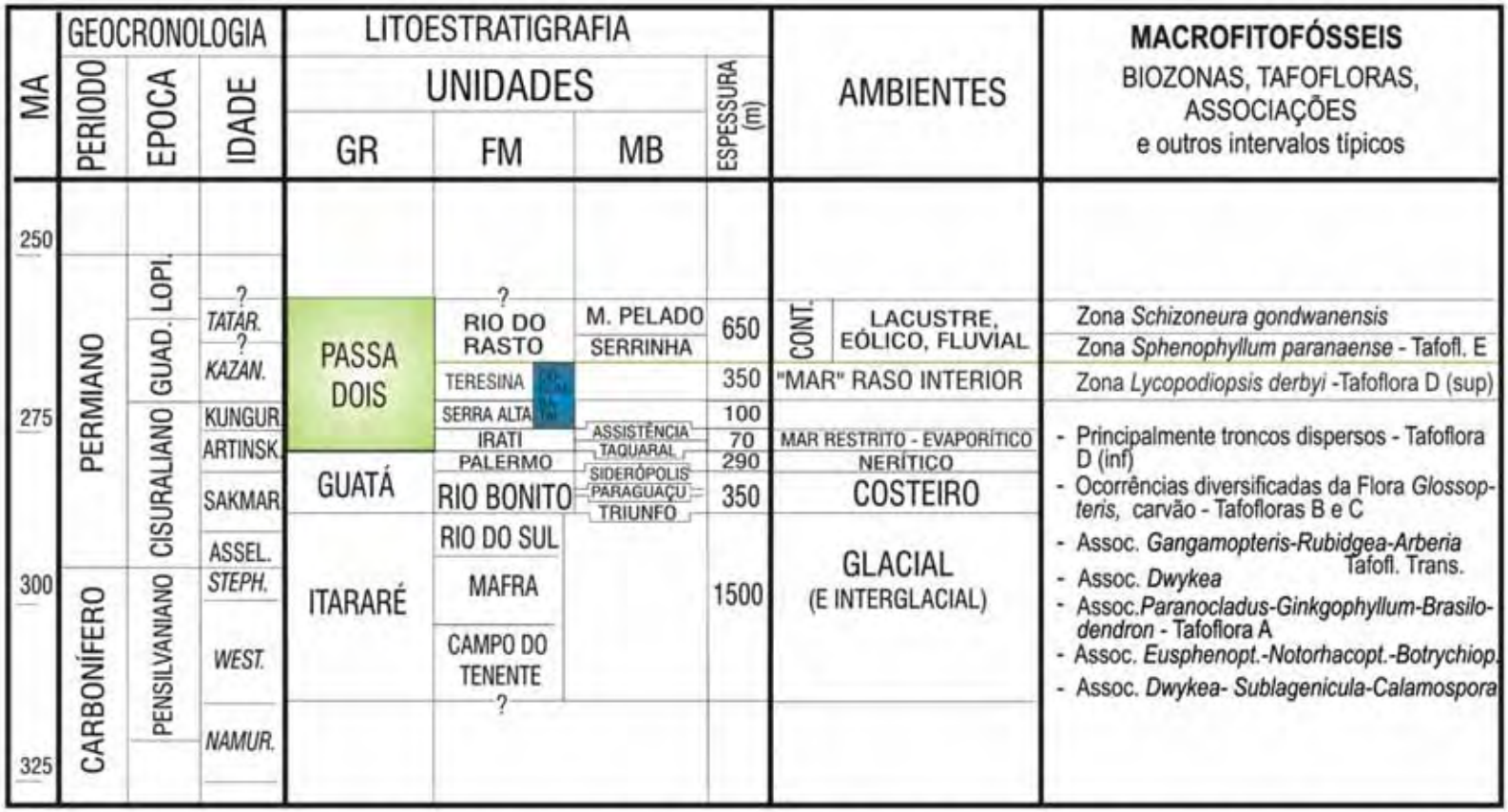


Figura 5- Carta estratigráfica do Permo-Carbonífero da borda leste da Bacia do Paraná nos Estados de Santa Catarina e Paraná (Rohn em preparação). Geocronologia baseada na Carta Estratigráfica Internacional do IUGS de 2000, exceto as idades escritas em itálico (mantidas conforme cartas mais antigas). Posições cronoestratigráficas dos grupos, formações e membros ajustadas de acordo com dados paleontológicos e bioestratigráficos consistentes e datações radiométricas confiáveis de unidades correlacionáveis da África. Tafofloras segundo Rösler (1978), biozonas das formações Teresina e Rio do Rasto conforme Rohn & Rösler, 2000 e associações megaflorísticas do Grupo Itararé segundo Bernardes - de - Oliveira et al. (2001). Em azul é destacado o intervalo de ocorrência de caules e folhas de samambaias permineralizados do presente estudo.

4.3. Paleontologia

Os fósseis mais comuns das formações Teresina e Corumbataí são moluscos bivalves, encontrados principalmente em carbonatos, coquinas e arenitos finos. Os gêneros de bivalves são endêmicos, porém guardam maior semelhança a espécies permianas marinhas do Gondvana do que a espécies lacustres (Simões et al., 1998; Mello, 1999; Ghilardi & Simões, 2002).

Quanto à ictiofauna, ela é rica em dentes, escamas, coprólitos e espinhos de Ostheichtyes (dipnóicos, crossopterígios, paleonisciformes) e Chondrichthyes (petalodontes, xenacantiformes), sendo alguns destes elementos constituintes de *bone beds* (Toledo et al., 1997a).

Trabalhos importantes de pesquisadores da Petrobrás contribuíram para o conhecimento da palinologia da Bacia do Paraná. Deve-se destacar as publicações clássicas Daemon & Quadros (1970) e Daemon (1974). Contudo, os depósitos avermelhados da Formação Corumbataí geralmente são estéreis em palinomorfos e poucos estudos foram realizados para o Grupo Passa Dois. Outros microfósseis encontrados em menor proporção são espículas de espongiários e ostracodes.

Macrofitofósseis são pouco comuns nas formações Teresina e Corumbataí. Os únicos fósseis vegetais relativamente abundantes são caules de licófitas, principalmente a espécie *Lycopodiopsis derbyi* Renault, recentemente revisados e reestudados por Alarcon (1998). Microfilos de licófitas também foram encontrados em diversos afloramentos e em furos de sondagem (Rohn, 1994; Rohn, 2001; Meglhioratti, 2005), porém ainda não foram estudados. Esfenófitas são muito raras nas unidades enfocadas, havendo apenas alguns caules de *Paracalamites* descritos num afloramento de Laras (Rigby, 1968). Algas carófitas foram registradas em diversas localidades e os estudos mais recentes foram realizados por Maranhão (1995). Coníferas estão bem representadas numa única localidade no norte de Santa Catarina (Yoshida, 1970; Rohn, 1994, Fanton et al., 2004, 2005, 2006), porém há menções sobre a ocorrência de "*Walchia*" na Formação Corumbataí (Mezzalira, 1989). Nas duas formações, folhas (compressões e impressões) do gênero *Glossopteris* foram encontradas no Município de Rio Claro (Perinotto & Rösler, 1985; Rohn, 1994), próximo a Laras (Rigby, 1968) e *Pecopteris* em Laras (Rigby, 1968).

Pecopteris e outros morfo-gêneros de pteridófilas, preservados como compressões ou impressões, são comuns na Bacia do Paraná, havendo registros nas formações Rio Bonito,

Teresina e Rio do Rasto (Rohn & Rösler, 1986; Vieira 2004). Também há registros de frondes férteis de filicíneas, igualmente preservadas como compressões ou impressões, porém muito mais raras (Rohn & Rösler, 1986).

Até o momento, impressões de *Pecopteris* foram registradas em apenas duas localidades do Estado de São Paulo, ou seja, em Laras e Taguaí, e os estudos mais detalhados foram realizados por Rigby (1968) e Rohn & Rösler (1986). Pinas e pínulas pecopterídeas permineralizadas foram encontradas exclusivamente no Bairro Santa Terezinha de Piracicaba, noticiadas em Rohn & Morales (1997).

Finalmente, macrofitofósseis importantes das formações Teresina e Corumbataí, embora raros, são os caules permineralizados. A maioria dos caules corresponde a troncos de gimnospermas de diversas localidades, até o momento estudados apenas por Mussa (1982). Os principais trabalhos sobre caules de filicíneas permineralizados das formações Teresina e Corumbataí são os seguintes:

a) Solms-Laubach (1913): realizou os primeiros estudos de caules de fetos arborescentes, encontrados próximo ao rio Piracicaba, Estado de São Paulo, provavelmente em depósitos da Formação Corumbataí. Este autor introduziu o gênero *Tietea*, válido até hoje.

b) Derby (1913): fez um estudo sucinto da estrutura anatômica de fragmento de caule de filicínea pertencente a espécie *Psaronius brasiliensis*.

c) Derby (1915): realizou estudo anatômico de fragmento de caule de uma filicínea pertencente a espécie *Tietea singularis* procedente do Estado de São Paulo, de idade permiana.

d) Maniero (1954): estudou um caule silicificado de uma "Pteridínea" encontrado próximo ao topo da "camada" Serrinha, "série" Passa Dois, entre os km 267 e 268 da estrada Curitiba-Tereza Cristina. Mais tarde, Rohn (1994) comentou que esta ocorrência deve estar situada na Formação Teresina. O fóssil apresenta conservação incompleta dos tecidos e trata-se apenas de um conjunto de radículas da zona cortical, não sendo possível identificar a que gênero pertenceria o fragmento, se *Psaronius* ou *Tietea*.

e) Nehls (2004): descreveu anatomicamente um fragmento de manto radicular de *Psaronius* do Município de Monte Castelo (SC), provavelmente da Formação Teresina. Entre as células parenquimáticas do manto radicular, o autor observou restos de epífitas.

Em unidades provavelmente equivalentes às formações Teresina e Corumbataí, no âmbito da Bacia do Paraná, os caules de filicíneas permineralizados foram estudados nos seguintes trabalhos:

Herbst (1975) descreveu dois espécimens de caules de filicíneas do Paraguai, os quais denominou apenas de "*filices psaroniacea 1 e 2"*, sendo um procedente da Colônia Independência e o segundo exemplar de uma localidade situada a uns 12-14 km a leste de Caaguazú.

Herbst (1987) descreveu um novo gênero, *Tuvichapteris*, e a espécie *Tuvichapteris solmsi* da família Psaroniaceae do Paraguai e Uruguai. Os espécimens do Paraguai pertencem à Formação Independência, onde os sedimentos correspondem à "fauna" *Pinzonella neotropica* do Permiano. Esta formação como um todo foi correlacionada com a Formação Teresina. Os espécimes do Uruguai foram coletados na Formação Yaguarí. Esta formação foi correlacionada às fácies Caveira (inferior) e Armada (superior) da "Formação Estrada Nova".

No Brasil, caules de filicíneas permineralizados também são conhecidos na Bacia do Parnaíba, em Tocantins. Os estudos mais recentes foram realizados por Herbst (1985, 1986, 1992, 1999), Rößler & Galtier (2002a,b) e Rößler & Noll (2002). Os gêneros *Psaronius* e *Tietea* são gêneros importantes da tafoflora de Tocantins, representando elementos fundamentais de comparação das filicíneas entre as duas bacias.

4.4. Bioestratigrafia

Mendes (1952) propôs três biozonas de bivalves no Estado de São Paulo, reconhecidas nos estados do Paraná e Santa Catarina por Rohn (1994), correspondendo à Zona *Anhembia froesi* na base da Formação Serra Alta e às zonas *Pinzonella illusa* e *Pinzonella neotropica* da Formação Teresina.

A partir de Mendes (1952), uma série de autores (Mendes, 1962a, 1963; Mezzalira, 1957, Landim 1970; Runnegar & Newell, 1971) adotaram ou modificaram ligeiramente a proposta original.

A palinologia tem sido utilizada como ferramenta eficaz nas correlações da Bacia do Paraná. Um dos primeiros trabalhos a colaborar nesta área foi realizado por Daemon & Quadros (1970). De acordo com a distribuição de palinomorfos (Saccites, Monoletes, monocolpados, algas

tasmanáceas e grãos de pólen dissacados), Daemon & Quadros (1970) subdividiram o Permo-Carbonífero em seis intervalos correspondentes às letras G-L; alguns destes intervalos apresentam subintervalos. Para a Formação Corumbataí, no Estado de São Paulo, sugeriram os subintervalos L_2 e L_3 . As camadas K e L seriam representativas de uma grande freqüência de grãos de pólen dissacados estriados como *Lueckisporites virkkiae,* forma esta, também encontrada no Hemisfério Norte. Estas camadas também indicariam mudança de clima, sendo quente e seco em certas regiões, com possíveis áreas mais úmidas representadas por faixas de manguezais.

Rösler (1978) analisou os dados paleobotânicos permo-carboníferos da Bacia do Paraná e interpretou que a sucessão apresenta cinco tafofloras (A a E). Ele considerou os elementos florísticos das formações Irati e Teresina como pertencentes à Tafoflora D (Fig. 5).

Rohn & Rösler (2000) apresentaram divisões bioestratigráficas formais conforme o conteúdo paleobotânico dos depósitos das formações Teresina, Rio do Rasto e Corumbataí. Nesta proposta, os megafósseis vegetais das Formações Teresina e Corumbataí estariam inclusos na Biozona *Lycopodiopsis derbyi*, cuja extensão vertical se baseia na amplitude total da espécie e de outros caules de licófitas (Fig.5). Segundo os autores, a distribuição geográfica da biozona na faixa de afloramentos estende-se do centro de Santa Catarina ao nordeste do Estado de São Paulo, devendo ter distribuição muito maior em subsuperfície e em outras regiões aflorantes, inclusive no Paraguai e Uruguai.

4.5. Paleoambientes

Várias são as discussões sobre os ambientes deposicionais da Formação Corumbataí e seus equivalentes no sul do país, se marinhos ou continentais.

Leanza (1948) juntamente com Mendes (1952) criticaram interpretações iniciais de que os bivalves fósseis do Grupo Passa Dois corresponderiam a gêneros marinhos. Segundo estes autores, o ambiente seria continental porque os bivalves encontrados na Formação Corumbataí seriam endêmicos à Bacia do Paraná e faltariam organismos efetivamente marinhos como equinodermos, cefalópodes e corais.

A partir da década de sessenta do século XX, vários autores intensificaram suas pesquisas para o conhecimento detalhado das unidades litoestratigraficas do Grupo Passa Dois, incluindo

estudos sobre a distribuição geográfica e espessura de camadas, descrição de litofácies, processos deposicionais, correlações estratigráficas, evolução tectônica, dados geoquímicos, além da paleontologia sistemática aliada à biologia e paleoecologia.

Suguio et al. (1974) realizaram estudos em calcários em Taguaí, no Estado de São Paulo. As estruturas sedimentares e a natureza oolítica indicariam ambiente de alta energia; as gretas de contração, ambientes de águas rasas com fases de ressecamento; as marcas onduladas com índices de retilinidade muito altos e estratificações cruzadas, sugeririam ambientes de praias.

Segundo Petri & Fulfaro (1983) a "fácies" Teresina representaria ambiente lagunar, com tendência a um ambiente menos redutor que a "fácies Serra Alta", em conseqüência do gradativo aumento das condições continentais.

Ragonha (1984), baseando-se no hábito de alguns organismos da ictiofauna, em especial xenacantiformes, sugeriu ambiente lacustre, sendo este "alimentado" por rios de baixo declive que transportava a maior parte da carga detrítica em suspensão. O elevado suprimento de terrígenos em suspenção, a baixa subsidência e o conseqüente assoreamento teria propiciado implantação de uma planície de inundação.

Mendes (1984) tradicionalmente favorável a interpretar o Grupo Passa Dois como continental, passou a admitir a possibilidade de comunicação dos sistemas deposicionais com o mar, porém deixou clara sua crítica quanto às interpretações de planícies de marés ou lagunas, as quais não poderiam ter grande extensão na bacia, mas restringir-se a uma faixa estreita.

Sousa (1985) apresentou uma descrição detalhada de fácies das formações Corumbataí e Estada Nova (Membro Serra Alta e Teresina) para o Estado de São Paulo. A Formação Serra Alta apresentaria depósitos de alto mar, a Formação Teresina corresponderia a planícies de maré e a Formação Corumbataí, uma zona de transição entre alto mar e face de praia em condições oxidantes. Esta autora sugeriu paleoclima quente e seco, sujeito à intensa evaporação.

Lavina (1991) em trabalho extenso sobre as fácies, interpretação das estruturas sedimentares e ambiente gerador da Formação Teresina e outras unidades do Grupo Passa Dois, ressaltou a importância da ação das ondas de tempestades para a produção de leitos ondulados, até então desprezada por alguns autores. Sugeriu que o ambiente deposicional seria um "lago-mar" raso e rejeitou a presença de fácies de marés. Para elucidar a existência de gretas de dessecação nas regiões próximas às bordas da bacia, apresentou como alternativa a seguinte explicação: "Nas regiões marginais da bacia formar-se-iam extensas planícies de lamas. Pequenas

flutuações da lâmina d'água, climáticas, ocasionadas por tempestades, ou mesmo por "marés induzidas pelo vento" teriam causado alternância de fases de inundação e dessecação necessárias para gerar os horizontes com fendas de ressecamento. Nas fases de inundação, as ondas induzidas pelo vento retrabalhavam as areias, produzindo os níveis com marcas de ondas simétricas. Eventualmente, tempestades retrabalhavam os sedimento nestas regiões gerando *hummocky*".

Rohn (1994) interpretou fácies das formações Teresina e Rio do Rasto, juntamente com o levantamento paleontológico, nos estados de Santa Catarina e Paraná, incluindo considerações para o Estado de São Paulo. Esta autora concordou que o ambiente poderia ser definido como um "lago-mar" raso, com possível comunicação com outras bacias na região sudoeste da América do Sul e sudoeste da África. As fácies costeiras estariam registradas nas áreas de afloramentos do Estado de São Paulo (porção equivalente à Zona *Pinzonella illusa* na Formação Corumbataí). Quase toda a deposição do Grupo Passa Dois provavelmente teria ocorrido em condições climáticas relativamente secas.

Toledo et al. (1997 a) e Toledo & Bertini (1998) noticiaram a presença de petalodontes (peixes cartilaginosos) representados principalmente por placas dentárias isoladas na Formação Corumbataí; interpretaram o ambiente como um sistema marinho restrito plataformal.

Meglhioratti (2006) considerou que, em geral, não houve comunicação efetiva da bacia com o oceano durante a deposição da Formação Teresina. A presença de indicadores de água doce (oogônios de carófitas) e indicadores de água salgada e/ou alcalina (estromatólitos, *Thalassinoides*) e a ocorrência de carbonatos, sugeriria variações na salinidade e turbidez da água. Estas condições seriam controladas pelo clima, ora mais seco, ora mais úmido.

4.6.Cronoestratigrafia

A cronoestratigrafia proposta para as unidades do Grupo Passa Dois é baseada principalmente nos fósseis encontrados.

Daemon & Quadros (1970) subdividiram o Paleozóico Superior da Bacia do Paraná em seis intervalos, já mencionados no capítulo de Bioestratigrafia. Cabe salientar-se apenas que a Formação Corumbataí abrangeria as subzonas L_2 e L_3, para as quais foi inferida idade kazaniana.

Daemon (1974), baseado em dados palinológicos de Artemis e Anhembi no Estado de São Paulo, reforçou a idade kazaniana para esta unidade litoestratigráfica, porém correspondendo apenas à Subzona L_3. A Subzona L_2 equivaleria à Formação Irati e também seria kazaniana.

Arai (1980) através de análises palinológicas de 193 amostras procedentes de estratos neopaleozóicos, situados nos estados do Paraná, São Paulo e Santa Catarina, envolvendo as unidades estratigráficas dos grupos Tubarão e Passa Dois, propôs seis intervalos informais, entre os quais a Formação Irati seria equivalente ao intervalo *Lueckisporites* de idade kunguriana, ou seja, mais antiga que aquela proposta por Daemon & Quadros (1970).

De acordo com Rohn & Rösler (1987) os megafósseis vegetais do Grupo Passa Dois foram determinados como permianos. As glossopterídeas, esfenófitas, licófitas, e troncos de gimnospermas, entre outros vegetais das formações Teresina, Corumbataí e Rio do Rasto, coadunam com elementos neopermianos da Flora *Glossopteris* de outras regiões.

Entretanto, há outras interpretações sobre as idades do Grupo Passa Dois, incluindo a possibilidade de que uma parte seja triássica.

Marques-Toigo (1991) em revisão das palinozonas de Daemon & Quadros (1970), considerou que a Formação Irati poderia chegar ao Tatariano. Portanto, partes mais altas do Grupo Passa Dois já seriam mesozóicas.

Maranhão (1995), ao analisar amostras palinológicas procedentes da Rodovia Castello Branco, km 161,5 (Formação Serra Alta) e julgar as espécies correlacionáveis à Zona L de Daemon & Quadros (1970) e à Zona *Luecksporites virkkiae* de Marques-Toigo (1988), manteve-se mais conservadora em relação às idades, atribuindo a amostra analisada ao kazaniano.

França et al. (1995), de acordo com cálculos de Cunha & França (1993) sobre as baixas taxas de sedimentação na bacia epicratônica e a grande espessura do Grupo Passa Dois, além das interpretações palinológicas de Marques-Toigo (1991) e de pesquisadores da Petrobrás (publicados em Daemon et al., 1996) a respeito da idade tatariana da Formação Irati, julgaram que a sedimentação do Grupo Passa Dois terminou apenas no Neotriássico. Esta idade corroboraria a opinião de Ragonha (1984), ao sugerir grande semelhança dos dentes de eslamobrânquios da Formação Corumbataí a formas triássicas do Hemisfério Norte.

Entretanto, Rohn & Stollhofen (2000) reafirmaram a idade permiana do Grupo Passa Dois, que poderia estar no intervalo Sakmariano / Arstinskiano a Tatariano. Um dos principais argumentos a favor desta idade seria a correlação dos bivalves lacustrinos *Leinzia similis* do

Membro Serrinha (Formação Rio do Rasto) com a Formação Gai-as na Namíbia. A datação de zircão de cinzas vulcânicas logo acima dos últimos bivalves da formação africana sugere idade de 265 ± 2.5 Ma. Tetrápodos da Zona *Cistecephalus* da Bacia de Karoo na África do Sul podem ser correlacionados com os tetrápodos da Formação Rio do Rasto e sugerem idade Mesotatariana (Cisneros et al., 2005).

A idade permiana é defendida também por Toledo (2001) com base em placas dentárias isoladas de petalodontes, um grupo de peixes cartilaginosos encontrados na Formação Corumbataí, em Rio Claro, que estariam restritos ao intervalo Eocarbonífero - Neopermiano.

Recentemente, Santos et al. (2006) realizaram datação absoluta em cristais de zircão de camadas de bentonita, intercaladas entre rochas sedimentares da Formação Irati, na mina da Petrobrás, em São Mateus do Sul (PR), sugerindo idade 278 ± 2.2 Ma. A bentonita formou-se por alteração de cinzas vulcânicas, de forma que os cristais de zircão seriam indicativos de evento vulcânico. A idade corresponde ao neoartinskiano segundo a Escala de Tempo Geológico em Wardlaw et al. (2004) ou ao início do Kunguriano na escala estratigáfica de Menning et al. (2006).

De qualquer forma, a idade é muito mais antiga do que a kazaniana, a qual era aceita por diversos autores para a Formação Irati.

Segundo Souza (2006), a Zona *Lueckisporites virkkiae*, equivalente aos intervalos K e L de Daemon & Quadros (1970), corresponderia ao Cisulariano superior – Guadalupiano inferior.

A Biozona *Lycopodiopsis derbyi*, que inclui material paleobotânico dos depósitos das formações Teresina e Corumbataí, equivale provavelmente ao Guadalupiano (ou, conforme as cartas cronoestratigráficas mais antigas, ao Kunguriano e Kazaniano inferior) (Rohn & Rösler, 2000).

5. CONSIDERAÇÕES SOBRE PINAS E PÍNULAS DE VEGETAIS PERMO-CARBONÍFEROS (TAXONOMIA E REGISTROS NO GONDVANA)

5.1. Pteridophylla

Os fósseis vegetais requerem critérios de classificação distintos daqueles empregados para os vegetais atuais. Este procedimento deve ser sensato, ao considerarmos que os vegetais fósseis, na maioria das vezes, são apenas fragmentos de órgãos como folhas ou caules, freqüentemente faltando as estruturas reprodutivas, as quais permitiriam realizar classificações mais precisas.

Desta forma, a paleobotânica procura usar critérios relativamente satisfatórios para classificar os fósseis, para não criar espécies em demasia ou para não incluir um número exagerado de morfotipos numa única espécie, procurando também valorizar características que possam sugerir estágios evolutivos ou a paleoecologia.

O termo "Pteridophylla" (pteridófila) foi proposto por Nathorst (apud Boureau & Doubinger, 1975) para enquadrar grupos de frondes estéreis que apresentam um conjunto de caracteres morfológicos relativamente similares aos das filicíneas, para os quais, porém, não se pode inferir qualquer relação taxonômica. As pteridospermas, que foram gimnospermas, também possuíam frondes, pinas e pínulas.

Diversos morfo-gêneros de pteridófilas do Neopaleozóico e os prováveis grupos que lhe deram origem podem ser encontrados em Taylor & Taylor (1993).

5.2. *Pecopteris*

No presente trabalho, as pinas e pínulas analisadas aproximam-se do morfo-gênero *Pecopteris* criado por Brongniart, 1822 (apud Boureau & Doubinger, 1975). De acordo com Taylor & Taylor (1993), este morfo-gênero é conhecido para o Carbonífero e o Permiano por representar as frondes que possivelmente estavam unidas ao caule de *Psaronius*, um gênero de filicínea cosmopolita, ou por representar as frondes de uma pteridosperma.

Faz-se necessário reforçar que o morfo-gênero *Pecopteris*, portanto, deve ser utilizado apenas para frondes estéreis. Quando as frondes são férteis, mesmo que sejam idênticas as

estéreis, são classificadas em outros gêneros na taxonomia natural. Não há garantia que os morfotipos estéreis não apresentem mais do que um tipo de estrutura reprodutiva (Vieira, 2000).

As pínulas férteis que possivelmente constituíam as frondes das Psaroniales são (Mickle, 1984): *Acaulangium* Millay, *Acitheca* Brongniart, *Araiangium* Millay, *Asterotheca* Presl, *Cyathotrachis* Watson, *Danaeites* Göeppert, *Eoangiopteris* Mamay, *Millaya* Mapes, *Ptychocarpus* Weiss, *Orthotheca* Corsin, *Radstockia* Kidston, *Scolecopteris* Zenker *e Tetramedium* Gothan.

De acordo com Vieira (2004), embora não tenham ocorrido formalmente alterações ou mesmo emenda à diagnose de *Pecopteris* Brongniart, 1822, a diagnose mais empregada atualmente é aquela fornecida por Corsin (1951), traduzida por Vieira (2004): "Pínulas atadas ao ráquis por toda a base, livres até a base da raque ou aderentes entre si por extensões mais ou menos amplas, com bordas laterais paralelas ou ligeiramente convergentes, arredondadas no ápice (excepcionalmente agudas), a borda inferior pode ser decorrente, freqüentemente inteira, mas às vezes lobada ou dentada, munidas de uma veia mediana muito simples e proeminente, freqüentemente alcançando o ápice ou quase, veias laterais simples ou em grupos de dois ou três, excepcionalmente quatro".

O termo pecopterídeo advém de *Pecopteris*. Segundo Vieira (2004), o termo é empregado para denominar um grupo de folhas megáfilas, compostas, pinadas, de folíolos digitiformes e veia média única, e que engloba diferentes estágios de desenvolvimento (fértil e estéril) e em distintas posições sistemáticas.

5.3. Pteridófilas e Pteridófitas do Gondvana

Neste subcapítulo é apresentado um breve histórico do registro das principais pecopterídeas estéreis e férteis do Gondvana (Fig. 6).

5.3.1. Brasil - Bacia do Paraná

Entre as pteridófilas encontradas na Bacia do Paraná, as mais comuns são *Pecopteris* e *Sphenopteris*. As filicíneas são melhor representadas pelos gêneros *Asterotheca* e *Dizeugotheca*. Como referido no capítulo 5.2. O presente trabalho prioriza as formas pecopterídeas, as quais

incluem o gênero estéril *Pecopteris*, que representa os exemplares analisados, e os gêneros férteis *Asterotheca* e *Dizeugotheca*.

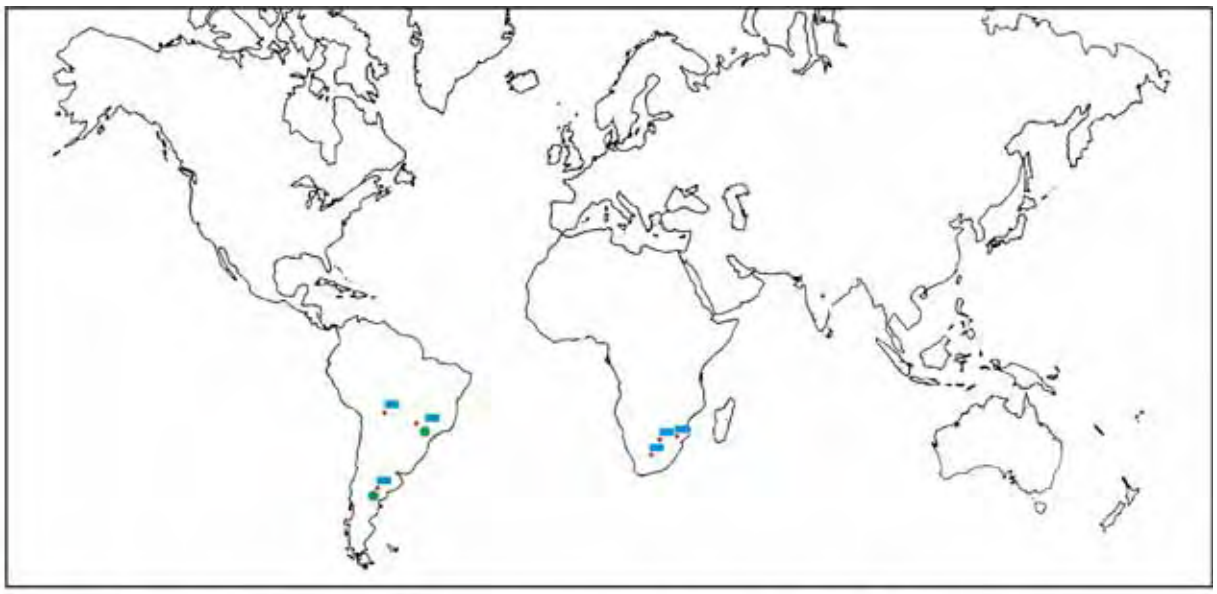


Figura 6- Ocorrências de pecopterideas permianas nas regiões gondvânicas da Flora *Glossopteris*.
● *Pecopteris*
▬ *Asterotheca*
⬟ *Dizeugotheca*

O morfo-gênero *Pecopteris* foi inicialmente identificado em distintas localidades do Estado do Paraná por Zeiller (1885 apud Bernades-de-Oliveira, 1977) e Lundqvist (1919 apud Bernades-de-Oliveira, 1977), citado como *Pecopteris* sp.

Read (1941) propôs três espécies de pecopterídeas, procedentes do Grupo Tubarão, em Cambuí, no Estado do Paraná. Estas espécies são as seguintes: *Pecopteris paranaensis* Read, *Pecopteris pedrasica* Read e *Pecopteris cambuhyensis* Read. O autor advertiu, porém, que as duas últimas espécies criadas estão intimamente relacionadas, mas as condições fragmentárias não permitiram incluí-las em uma única espécie.

Mendes (1967) encontrou uma pina pecopterídea, a qual mencionou informalmente como *Pecopteris* sp., proveniente de Mallet, no Estado do Paraná, atribuído à Formação Estrada Nova, provavelmente do Membro Serrinha da Formação Rio do Rasto (Rohn, 1994).

Rigby (1968) identificou num afloramento próximo a Laras, no Estado de São Paulo, na Formação Corumbataí, duas espécies, as quais foram classificadas como ?*Asterotheca feruglioi* Frenguelli e *Pecopteris paranaensis* Read.

Ao pesquisar a tafoflora da Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão), Rösler (1972) citou a presença do gênero *Asterotheca* e mencionou que as filicíneas não eram muito diversificadas, embora fossem comuns. Ao encontrar folhas férteis que apresentariam semelhanças com *Pecopteris pedrasica* Read e *Pecopteris cambuhyensis* Read, este autor sinonimizou estas duas espécies, e as incluiu na classificação *Asterotheca (Pecopteris) cambuhyensis*. De acordo com o Código Internacional de Nomenclatura Botânica (Greuter et al., 2000), as formas estéreis não poderiam ter sido incluídas no gênero *Asterotheca*, que representa formas férteis. Vieira (2004) esclareceu este equívoco ao apresentar emenda para a diagnose de *Pecopteris pedrasica* Read e colocar em sinonímia, a favor desta espécie, a forma anteriormente denominada '*Pecopteris cambuhyensis*' Read.

Bortoluzzi (1975) identificou pinas procedentes da Formação Irati, do Estado do Rio Grande do Sul, as quais classificou informalmente como *Pecopteris* sp.

Bernardes-de-Oliveira (1977) ao pesquisar a flora da Camada Irapuá na Formação Rio Bonito, no Grupo Tubarão, na região de Criciúma e São Mateus, no Estado de Santa Catarina, mencionou a presença de pinas pecopterídeas muito fragmentadas. Algumas foram incluídas em *Pecopteris cambuhyensis* e um exemplar recebeu apenas a classificação *Pecopteris* sp.

Cazzulo-Klepzig (1978) realizou um estudo paleobotânico de afloramentos no sul do Estado de Santa Catarina, no Membro Morro Pelado, Formação Rio do Rasto. Propôs duas espécies novas, *Dizeugotheca bortoluzzii* e *Pecopteris opposita*. Outros exemplares foram classificados como *Pecopteris* sp. I, *Pecopteris* sp. II e *Pecopteris pedrasica.* Vieira (2004), ao reanalisar uma série de follhas pecopterídeas de várias coleções, desfez a espécie *Dizeugotheca bortoluzzii*, alegando que os seus representantes não poderiam ser atribuídos a este gênero, e classificou-os como *Asterotheca* sp. III, *Pecopteris* sp. I e *Pecopteris* sp. II.

Cazzulo-Klepzig & Correia (1981), descreveram formas de *Pecopteris* da Serra do Cadeado, no Estado do Paraná, da Formação Rio do Rasto.

Rohn & Rösler (1986) realizaram um levantamento minucioso de pinas e frondes pecopterídeas estéreis e outras supostamente férteis, com base em 78 exemplares, de 23 afloramentos da Formação Rio do Rasto, no Estado do Paraná, e dois na Formação Corumbataí,

no Estado de São Paulo. Os autores propuseram quatro espécies de pecopterídeas estéreis: *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler*, Pecopteris dolianitii* Rohn & Rösler*, Pecopteris esperancensis* Rohn & Rösler e *Pecopteris cadeadensis* Rohn & Rösler. As duas primeiras espécies foram coletadas em afloramento próximo a Taguaí, no Estado de São Paulo; as demais espécies são de várias localidades do Estado do Paraná. Os exemplares restantes foram classificados como *Pecopteris* sp. I, *Pecopteris* sp. II, *Pecopteris* sp. III, ?*Dizeugotheca* sp. e ?*Dizeugotheca bortoluzzii.*

Oliveira (1994) analisou uma série de frondes fragmentadas e pínulas isoladas, coletadas em afloramentos na Formação Rio do Rasto, nos estados do Paraná e Santa Catarina. A preservação fragmentária do material permitiu classificá-los apenas como *Dizeugotheca* sp. I, *Dizeugotheca* sp. II. Vieira (2004), ao reanalisar as amostras classificadas como *Dizeugotheca* sp. I, reclassificou este material como *Asterotheca* sp. II, e *Pecopteris* sp. V.

Rohn et al. (1997a) noticiaram uma série de macrofitofósseis coletados em várias localidades atribuídas às formações Teresina e Rio do Rasto, no Estado de Santa Catarina. Entre eles encontram-se *Pecopteris dolianitii, Pecopteris cadeadensis, Pecopteris* cf. *P. bracatingaensis* e *Dizeugotheca*?.

Na região de Cândido de Abreu, no Estado do Paraná, nas formações Teresina e Rio do Rasto, Rohn et al. (1997 b) encontraram novas ocorrências de *Pecopteris dolianitii, Pecopteris* cf. *P. bracatingaensis* e *Pecopteris* cf. *P. cadeadensis* e *Dizeugotheca?*.

Vieira & Iannuzzi (2000), ao realizarem coletas em Mariana Pimentel, Município do Estado do Rio Grande do Sul, atribuído à Formação Rio Bonito, constatou ocorrência de *Asterotheca* sp., *Pecopteris* sp. I, *Pecopteris* sp. II.

Vieira (2004) obteve importantes resultados taxonômicos, paleogeográficos, paleoecológicos, além de esclarecer alguns erros nomenclaturais para as frondes pecopterídeas da América do Sul, procedentes das formações Rio Bonito e Rio do Rasto, no Brasil, e das formações Copacabana e Chutani, do Grupo Titicaca, na Bolívia. O autor considerou o gênero *Asterotheca* Presl como um morfo-gênero de pecopterídea fértil, e não um gênero natural, como proposto originalmente. Foram emendadas as diagnoses de *Asterotheca piatnitzkyi* Frenguelli e *Pecopteris predasica* Read. Identificou pela primeira vez *Asterotheca piatnitzkyi* Frenguelli na Formação Rio Bonito e *Asterotheca anderssonii* Halle e *Pecopteris anderssonii* na Formação Copacabana. Outros exemplares das formações Copacabana e Rio do Rasto foram classificados

como *Asterotheca* spp. e *Pecopteris* spp. Outras modificações foram citadas nos parágrafos acima.

A tabela abaixo resume as principais informações sobre o morfo-gênero *Pecopteris* na Bacia do Paraná.

			Permiano					
			Artinskiano / Kunguriano		Kazaniano	Tatariano		
			Gr. Guatá			Gr. Passa Dois		
						Corumbataí		
			Rio Bonito	Palermo	Irati	Serra Alta	Teresina	Rio do Rasto
Pecopteris	*taguaiensis*	Rohn & Rösler, 1986				SP	SP	
	dollanitii	Rohn & Rösler, 1986				SP	SP	PR
	esperancensis	Rohn & Rösler, 1986						PR
	bracatingaensis	Rohn & Rösler, 1986						PR
	cadeadensis	Rohn & Rösler, 1986						PR
	opposita	Cazzulo-Klepzig, 1978						SC
	pedrasica	Cazzulo-Klepzing, 1978; Read, 1941	PR					SC
	cambuyensis	Read, 1941; Bernardes-de-Oliveira, 1977	PR, SC					
	paranaensis	Read, 1941; Rigby, 1968	PR			SP	SP	
	sp.	Bernardes-de-Oliveira, 1977; Bortoluzzi, 1975; Cazzulo-Klepzing, 1978; Cazzulo-Klepzing & Correia, 1981; Rohn & Rösler, 1986; Rohn et al., (1997 a, b, c); Iannuzzi & Vieira (2000).	SC, RS			RS SP	SP	SC PR

Tabela 1- Distribuição de *Pecopteris* nas unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná.

5.3.2. Brasil - Bacia do Parnaíba

Vieira et al. (2003), em nota, comentou a ocorrência de pinas pecopterídeas na Formação Pedra de Fogo, em Tocantins. Embora as pinas não tenham sido descritas, muitas pertenceriam ao morfo-gênero *Pecopteris.* Entre estas pinas ocorrem também formas férteis e de acordo com os autores, elas podem apresentar similaridades com *Scolecopteris*, *Gemellitheca* e *Dizeugotheca*.

Rößler & Noll (2002) descreveram brevemente pecopterídeas férteis da mesma unidade atribuídas a prováveis representantes de *Scolecopteris*.

5.3.3. Argentina

Trabalhos de relevância para a paleobotânica foram produzidos na Argentina. Arkangelsky & De La Sota (1960) através de exemplares das províncias de Santa Cruz e Chubut, propuseram o gênero *Dizeugotheca* e as espécies *Dizeugotheca waltonii* Arkangelsky & De La Sota e *Dizeugotheca neuburgia* Arkangelsky & De La Sota, *Pecopteris* (*Asterotheca?*) *frenguellii, Pecopteris* (*Dactylotheca?*) *hirundinis* e nova combinação de *Asterotheca anderssonii*. Outras formas pecopterídeas férteis e estéreis também foram analisadas, tais como: *Asterotheca piantnitzkyi* Frenguelli, *Asterotheca singeri* Arkangelsky, *Asterotheca feruglioi* Frenguelli, *Pecopteris unita*, *Pecopteris* sp. III, *Pecopteris* sp. IV

Leguizamon (1972) identificou algumas pecopterídeas similares a *Pecopteris anderssonii*, além de *Pecopteris* sp. para macrofósseis da Formação Tasa Cuna, na província de Córdoba, na Argentina.

Arkangelsky & Arrondo (1973) descreveram uma série de vegetais procedentes da província La Rioja, Sierra de Los Llanos, atribuída à Formação Arroyo Totoral. Dentre o material analisado pelos autores, encontra-se *Asterotheca feruglioi* Frenguelli. De acordo com eles, a tafoflora é comparável àquela do Grupo Guatá, nas regiões de Lauro Muller e Criciúma, no Brasil.

Herbst (1976) propôs a espécie *Asterotheca golondriensis* para representar a forma fértil de *Pecopteris unita*, ocorrente na série Golondrina, Patagônia, na Argentina. Conforme observações do autor, *Pecopteris unita* apresenta uma ampla distribuição geográfica, ocorrendo na Europa, China, África do Sul, Nova Guiné e na Patagônia, e ampla distribuição cronológica

(permo-carbonífera). Em alguns trabalhos esta espécie é empregada apenas para formas estéreis, em outros, corresponde também às férteis. Quando as pínulas estão férteis, baseando-se no grau de desenvolvimento de suas estruturas reprodutivas, elas apresentam também duas variedades, conduzindo a erros na identificação.

Exemplos de *Asterotheca piantnitzkyi* Frenguelli foram mencionados por Azcuy & Cezari (1980), procedentes da Formação Libertad, Província de La Rioja, Carbonífero Superior da Argentina.

5.3.4. Bolívia

Arrondo (1967) descreveu *Dizeugotheca branisae* para o material procedente da Formação Copacabana. Este mesmo autor, em 1972, descreveu uma nova espécie, *Dizeugotheca furcata*, através da qual propôs uma emenda à diagnose do gênero.

Vieira (2000) realizou a descrição de frondes pecopterídeas registradas na Bolívia, que são procedentes da Formação Chutani, Grupo Titicaca, correlacionável à Formação Rio do Rasto, Bacia do Paraná, com idade Neopermiana. Este autor realizou também, uma emenda à diagnose de *Pecopteris dolianitii,* inicialmente proposta por Rohn & Rösler (1986). Os espécimens bolivianos foram classificados como *Pecopteris dolianitii, Pecopteris* sp., *Asterotheca* sp. e formas similares a *Pecopteris cadeadensis* e *Pecopteris pedrasica*.

Vieira et al. (2004) modificaram ligeiramente as classificações anteriores, considerando válidas *Pecopteris dolianitii*, *Pecopteris* cf. *P. cadeadensis*, *Pecopteris* cf. *P. pedrasica e ?Asterotheca* sp.

5.3.5. África

O gênero *Asterotheca* foi relatado por Teixeira (1947), em material procedente da África Oriental, na bacia de Karoo, na região de Tete (Moçambique).

Lacey & Huard-Moine (1966) estudaram e re-examinaram os materiais procedentes do distrito de Wankie, no Zimbábue, e compararam-no com as fitofósseis da África, América do Sul e Ásia. Observaram que estes materiais seriam compostos por elementos gondvânicos e nórdicos.

Entre os materiais classificados, encontram-se: *Pecopteris arcuata* Halle, *P.* (*Asterotheca*) *plunstediae* Huard-Moine, *P.* (*Asterotheca*) *singeri* Archangelsky, *P.* (*Asterotheca*) *hemitelioides* Brongniart e *Asterotheca* sp.

Le Roux (1976) descreveu alguns macrofitofósseis do Permiano da África do Sul (Vereeniging), os quais representam elementos nórdicos ocorrentes na Flora *Glossopteris*, sugerindo a ocorrência de uma flora mista. Entre os elementos, são descritos *P.* (*Asterotheca*) *singeri* Archangelsky e *P.* (*Asterotheca*) cf. *plunstediae* Huard-Moine.

Anderson & Anderson (1985) propuseram duas espécies novas para o Permiano da África do Sul, procedentes de Vereeniging, na Bacia de Karro, Grupo Ecca. Os espécimens foram classificados como *Asterotheca leeukuilensis* e *Asterotheca hammanskraalensis* Smithies. Todas as espécies pecopterídeas citadas no trabalho de Le Roux (1976) foram sinonimizadas para a espécie *Asterotheca leeukuilensis.* É interessante salientar que Anderson & Anderson (1985) incluíram tanto formas férteis, quanto estéreis em *Asterotheca.*

5.3.6. Índia

Maheshwari & Prakash (1964) descreveram duas pecopterídeas procedentes da Formação Damuda, Permiano Superior, da Índia. Este material ficou classificado como *Pecopteris* sp. e *Pecopteris phegopteroides* (Feistm.) Arber.

Maithy (1975) propôs a espécie *Dizeugotheca phegopteroides* (Feistm.) para o Permiano Superior da Índia. Esta forma, pecopteroíde fértil, não era condizente com a diagnose original de *Dizeugotheca*, proposta por Arkangelsky & De La Sota (1960), para os exemplares argentinos.

Pant & Mirsa (1976) propuseram o gênero *Ansasolia* para acomodar *Dizeugotheca phegopteroides*, baseando-se principalmente na localização das estruturas reprodutivas, as quais se encontram na margem da lâmina foliar.

5.3.7. Turquia

A Turquia apresenta elementos florísticos típicos da Euramérica, Cataísia e Gondvana, sendo considerada uma região ecótona das respectivas três floras durante o Permiano.

Wagner et al. (1985) descreveram formas pecoperídeas férteis preservadas como impressões e compressões, procedentes da Turquia, no Oriente Médio. Ao material foi atribuído um novo gênero, *Gemellitheca*, representado pela espécie-tipo *Gemellitheca saudica.* A diferença proposta pelos autores para esse novo gênero quando comparado com *Dizeugotheca*, refere-se à presença de sinângios biloculares, e não tetraesporângiados. Porém, os mesmos autores aventaram a possibilidade da existência de mais esporângios.

6. RESULTADOS TAXÔMICOS E SISTEMÁTICOS DAS PINAS E PÍNULAS

Incertae Sedis

Pteridophylla Nathorst (apud Boureau & Doubinger, 1975)

Morfo-gênero *Pecopteris* Brongniart, 1822

Espécie-tipo: *Pecopteris pennaeformis* Brongniart, 1822-1835

***Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986 emend.**

(Figs. 7-12, Est. 1-5)

1986. *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, Bol. IG-USP, São Paulo, n-°. 17, p. 57-76, figs. 2, 12 a 15, tab. 1.

Holótipo, localidade-tipo e estratigrafia: *Pecopteris taguaiensis* Rohn and Rösler, 1986, localizado na Coleção Paleontológica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), Estado de São Paulo, Brasil, número GP/3T -1713bA, Pedreira Vella, próximo a Taguaí, Estado de São Paulo, Permiano Médio (Guadalupiano), Formação Estrada Nova, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná.

Material estudado: URC PT-55, 56, 57A, 57B, 58A, 58C, 59, 60, 61, 62, 63A, 63B, 63C, 64, 65, 66A, 66B, 67, 68A, 68B, 71B, 71C; lâminas: URC PT L-55, 58, 59, 70.

Localidade e estratigrafia do material estudado: Bairro Santa Terezinha, Município de Piracicaba (UTM 7490,7 km N/222,0 km E ou 22°40'S/47°42, 4'W), Estado de São Paulo, Sudeste do Brasil, Guadalupiano, Formação Corumbataí, Grupo Passa Dois , Bacia do Paraná.

Diagnose emendada:

Frondes pelo menos bipinadas, com ráquis robusto, apresentando cicatrizes circulares de inserção de pêlos relativamente grandes. Pinas oblongas com relação comprimento por largura próxima a 7,7, conectadas segundo ângulos entre 43° e 54° no ráquis principal, em posição alterna, próximas entre si ou até imbricadas. Ápice das pinas pouco agudo a obtuso, imparipinado e

pinatífido. Ráquis das pinas estriado e provavelmente com carena longitudinal na face adaxial; na face abaxial, ráquis com cicatrizes circulares pontuadas e proeminentes de inserção de tricomas. Pínulas contíguas, conectadas com toda a sua base a quase 90° ao ráquis, em posição freqüentemente oposta, porém também alterna. Forma das pínulas oblonga, com margens laterais inteiras, lisas, livres desde a base ou coalescidas na porção basal, apresentando relação comprimento por largura normalmente entre 2,4 e 2,9. Ápice das pínulas arredondado, ocasionalmente um pouco encurvado para o lado distal. Veia das pínulas constituída por veia mediana decorrente da carena do ráquis, com terminação em dicotomia, e por mais ou menos 8 a 12 veias secundárias em cada lado da veia mediana, geralmente emitidas segundo ângulos entre 50° e 65°, dispostas em densidade não muito alta, opostas (ou subopostas, tendendo levemente ao padrão catadrômico). Calibre das veias das pínulas relativamente fino na superfície adaxial e grosso na superfície abaxial. Veias secundárias na superfície adaxial, sem decorrência nítida da veia mediana, porém na superfície abaxial, curso mais ou menos retilíneo e com uma dicotomia a um terço da distância entre a veia mediana e a margem; veias resultantes da dicotomia não muito divergentes, retilíneas e paralelas a levemente curvas e côncavas entre si; às vezes, presença de uma segunda dicotomia próxima às margens, desenvolvida no ramo acroscópico do primeiro par dicotômico. Células epidérmicas das veias normalmente retangulares ou alongadas, com paredes anticlinais lisas.

Emended diagnosis:

Fronds at least bipinnate, with robust rachis, showing circular insertion scars of relatively large hairs. Elongated pinnas with length to width ratio of approximately 7.7, attached alternately to the main rachis at angles of between 43° and 54°, close to each other or even imbricated. Apex of pinnas slightly pointed to obtuse, pinnatifid and odd-pinnate. Rachis of pinnas striated and probably with carina on adaxial face; adaxial rachis with pointed and protruding circular trichome insertion scars. Contiguous pinnules with entire base attached at approximately 90° to the rachis, frequently opposite, but also alternate. Oblong pinnules with entire, smooth lateral margins, free since the base or coalesced in the proximal region, generally with a length/width ratio of between 2.4 and 2.9. Apex of pinnules rounded, occasionally slightly curved to distal side. Leaf lamina of the pinnules relatively thick and strongly curved to the abaxial side.

Relatively thin pinnule veins on adaxial surface and thicker on abaxial surface. Midvein of pinnules decurrent from carina of rachis, dichotomous by the end. Approximately 8 to 12 secondary veins emerging from each side of the midvein at angles between 50° and 65°, generally in opposite arrangement (or sub-opposite, tending to catadromic), not very dense. Secondary veins on adaxial surface without clear decurrence from midvein, but distinctly decurrent on abaxial surface. Secondary veins relatively straight with dichotomy approximately at one third of the way to the margin; veins resulting from this dichotomy relatively straight and parallel to slightly curved and concave to each other; occasionally a second dichotomy near the margin, developed on acroscopic branch of the first dichotomous pair. Epidermal cells of veins normally rectangular or elongated, with smooth anticlinal walls.

Descrição:

Todos os exemplares de Piracicaba estão permineralizados por sílica e encontram-se preservados tridimensionalmente. O limbo foliar das pínulas é relativamente grosso com espessura entre 600 µm a 900 µm, e há forte encurvamento das margens laterais das pínulas no sentido abaxial, conferindo-lhes aspecto mais estreito que a sua largura real (Est. 5, fig. B). Nas amostras, algumas pinas estão expostas na superfície adaxial para cima, outras com a superfície abaxial para cima (Figs. 7-12.; Est. 1-5), não tendo sido possível removê-las da rocha para a exposição de ambas as superfícies. Todas as amostras de Piracicaba são fragmentos de pinas oblongas, das quais, três amostras apresentam preservação de suas porções distais. Tais amostras têm forma triangular, padrão imparipenado, pinatífido e o ângulo do ápice varia entre 60º e 80º (Fig. 10-12; Est. 4, fig. A, B; Est. 5, fig. A). A menor pina tem comprimento de 8,8 mm e a maior 48 mm. A largura varia entre 7,0 mm a 16,0 mm. As pinas apresentam pínulas conectadas ortogonalmente aos ráquis, em disposição geralmente oposta a subalterna, muito próximas entre si. As pínulas são oblongas, perfeitamente simétricas, com bases totalmente conectadas ao ráquis, ápices arredondados, margens lisas. Conforme as superfícies abaxial ou adaxial observadas, diversas características apresentam-se de modos bastante distintos. Por exemplo, os ráquis das pinas são estreitos em vista adaxial (Figs. 7-8). Em vista abaxial, todos os ráquis observados são robustos, apresentando cicatrizes de inserção de tricomas circulares e proeminentes, como na amostra URC TP- 57B (Fig. 9; Est. 2, fig. A) e na amostra URC TP- 60 (Fig.11; Est. 3, fig. A).

Os ráquis têm espessuras variando entre 0,6 mm a 2,5 mm. As cicatrizes estão distribuídas no ráquis densamente. Em alguns locais melhor preservados, é possível observar um alinhamento, geralmente formado por três cicatrizes (Fig. 11; Est. 3, fig. A). Na superfície adaxial, as finas veias secundárias, quase não visíveis, partem em ângulo oblíquo, entre 40° e 55° da veia mediana, sem nítida decorrência, relativamente retas e dicotomizam-se uma vez (Est.1, figs. A, B). Na superfície abaxial, as grossas veias apresentam ligeira decorrência a partir da veia mediana e encurvamento um pouco maior para as margens, também com uma dicotomia aproximadamente na metade da distância entre a veia mediana e a margem ou um pouco mais próxima da veia mediana. Em alguns casos, as veias secundárias próximas ao ápice não apresentam nítida dicotomia (Est. 2, fig. B; Est. 3, fig. B). As veias medianas têm comprimentos que variam de 3,5 mm a 8,0 mm. Estas veias na superfície abaxial atingem largura de 0,4 mm a 0,8 mm. As veias secundárias estão distribuídas em número de 7 a 9 em cada lado da veia mediana, e a densidade de veias secundárias varia entre 1 a 1,55 mm. O comprimento das veias secundárias compreende 0,7 mm a 1,0 mm e a largura varia entre 0,4 mm a 0,5 mm, sendo mais comum 0,5 mm. As medições das larguras das veias medianas e secundárias foram realizadas apenas para as pínulas expostas com a porção abaxial para cima, visto que, na porção adaxial elas são relativamente pequenas. As dimensões de todos os exemplares estão indicadas nas Tabelas 2A e 2B. Na amostra URC PT- 57B preservaram-se as células epidérmicas das veias das pínulas. As paredes das células anticlinais das veias são lisas, apresentam forma retangular e alongada em sua grande maioria, porém formas irregulares são encontradas. Estas células estão organizadas em fileiras e paralelas umas em relação às outras ao longo da veia mediana, sofrem um desvio no curso à medida em que se direcionam para as margens, tendo continuidade nas veias secundárias. O tamanho das células em geral compreende 52 µm de comprimento e 23 µm de largura (Est. 2, figs. C, D, E).

Discussão:

Os exemplares aqui analisados apresentam extrema semelhança a *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986. Estas semelhanças podem ser verificadas na forma das pínulas, com margens inteiras e simétricas, pela ausência de espaços entre elas, pelo tamanho das pínulas e sua disposição ortogonal no ráquis, pelos ângulos de inserção das veias secundárias nas veias

medianas. As veias medianas e secundárias da face adaxial são de calibre fino e relativamente retilíneas em direção à margem, e dicotomizam-se uma vez. Os dados quantitativos apresentaram algumas discrepâncias relacionadas à largura e ao comprimento das pinas, e ao número de pínulas em cada lado da pina, que são menores nas amostras de Piracicaba do que nas de Taguaí, mas isso é justificável pelo estado mais fragmentado das pinas (Tab. 3). A ocorrência de coalescência lateral entre algumas pínulas é uma característica anteriormente não verificada em *P. taguaiensis*. Há dúvidas se tal coalescência teria existido em todos os exemplares de Piracicaba ou se foi rompida antes da fossilização ou se está obliterada por outros fatores tafonômicos. De qualquer modo, a diagnose de *Pecopteris* admite a coalescência lateral de pínulas e existem exemplos de samambaias atuais em que a proximidade das pínulas é tão grande que fornecem a impressão de coalescência lateral (Observação no Herbário de Rio Claro com os exemplares: *Alsophila sternbergii* – HRCB 35506 e *Dicksonia sellowiana* – HRCB 6224). A preservação tridimencinoal de algumas porções abaxiais de pínulas de Piracicaba permitiu verificar pela primeira vez que esta superfície pode apresentar caracteres ligeiramente distintos da superfície adaxial, tais como veias secundárias um pouco mais espessas e encurvadas em direção à margem, contribuindo para áreas intervenais mais estreitas, além de um ráquis mais robusto. Há, porém, coerência em relação aos ângulos de inserção das veias secundárias, disposição oposta a alterna na veia mediana e dicotomias pouco divergentes. Nenhuma amostra de Piracicaba apresenta uma segunda dicotomia. As características acrescentadas à diagnose de *Pecopteris taguaiensis* dizem respeito principalmente ao tipo de fossilização distinto dos exemplares de Piracicaba (permineralização por sílica) em relação àquele holótipo e parátipo de Taguaí (impressão) que permitiu detalhar feições da superfície adaxial e abaxial. A caracterização das células da epiderme é outra importante novidade que justifica a apresentação da emenda à diagnose.

Pecopteis taguaiensis Rohn & Rösler, 1986 assemelha-se estruturalmente a *Asterotheca feruglioi Frenguelli* Archangelsky & De La Sota,1960, material este proveniente da Província de Chubut, na Argentina. As diferenças são as margens paralelas, a ausência de espaçamento entre as pínulas, existência de uma bifurcação nas veias secundárias, dicotomias menos divergentes, pínulas menores e ausência de estruturas reprodutivas.

O mesmo ocorre com *Pecopteris (Asterotheca?) frenguellii* Archangelsky & De La Sota, 1960, da mesma localidade citada acima. As diferenças encontram-se na ausência de espaçamento entre as pínulas, veia mediana decorrente e com bifurcação no ápice, veias

secundárias ligeiramente mais retas e com a bifurcação mais distante da veia mediana e, na superfície abaxial, ramos da dicotomia menos divergentes, além da falta de sinângios.

Outra espécie semelhante é *Taiyuanitheca tetralinea* Zhifeng & Thomas, 1993, proveniente de Taiyuan, norte da China. As diferenças correspondem às dimensões das pínulas menores, e ráquis das pinas menos espesso. As bifurcações não são formadas próximas às margens, os ramos da dicotomia são menos divergentes e os exemplares são estéreis.

Todas as espécies mencionadas para as comparações estão representadas por compressões ou impressões. Os exemplares de Piracicaba distinguem-se, portanto, também pelo tipo de fossilização.

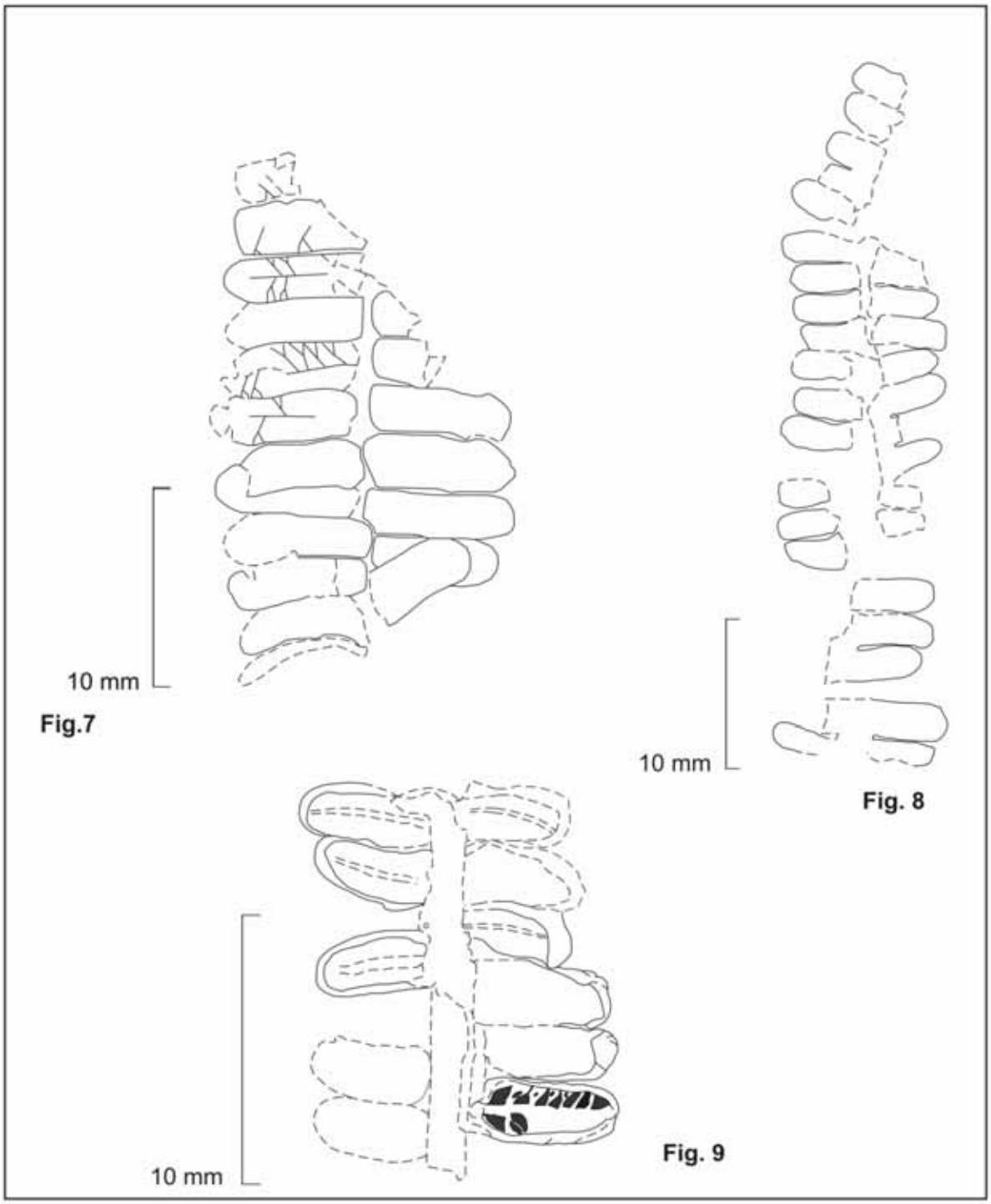


Figura 7- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT-55, equivalente à estampa 1, fig. A,B. Superfície adaxial.

Figura 8- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT-57A, equivalente à estampa 1, fig. C, D, E. Observar a coalescência basal das margens de algumas pínulas. Superfície adaxial.

Figura 9- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 57B, equivalente à estampa 2, fig. A, B, C, D, E. Superfície abaxial.

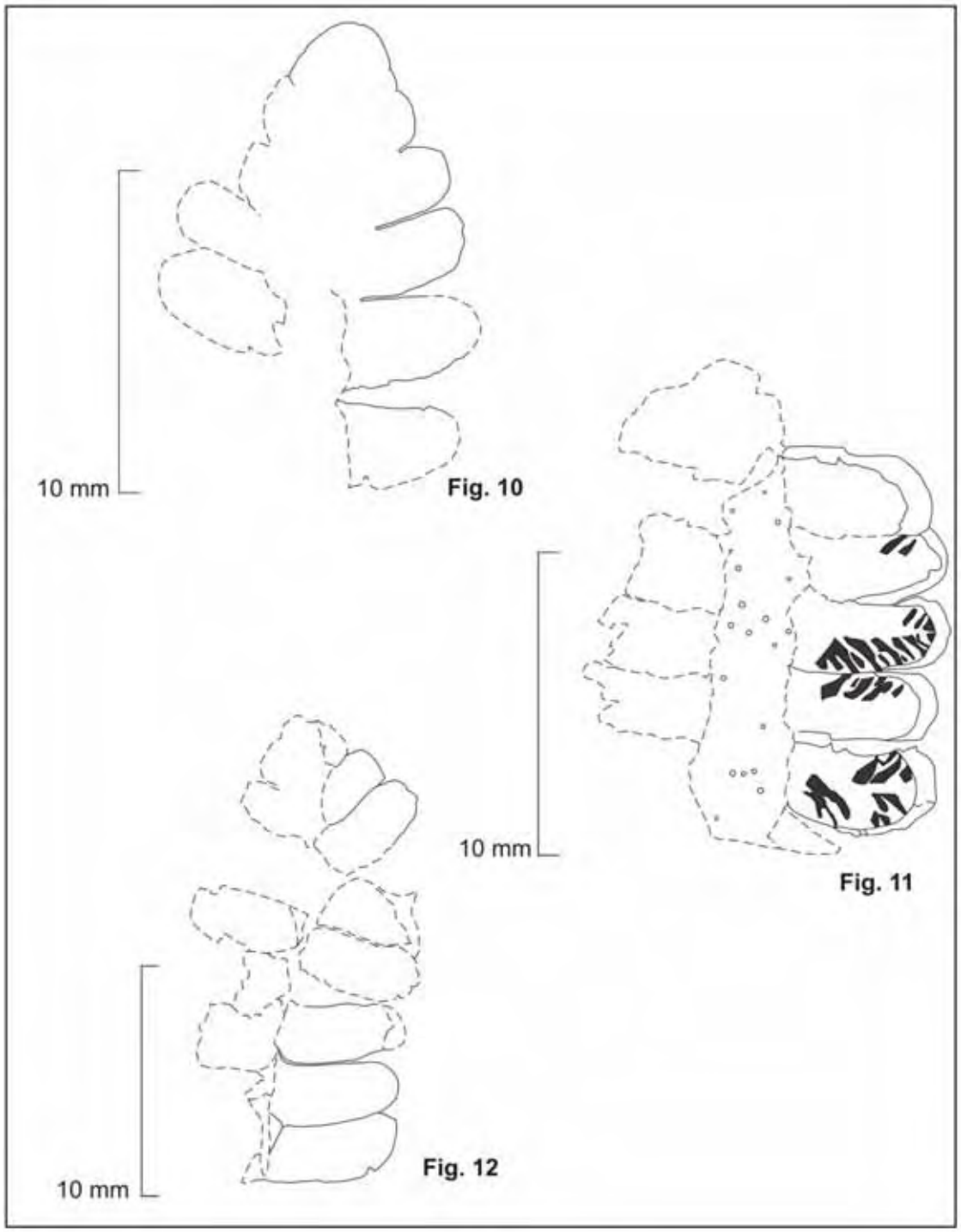


Figura 10- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 66B, equivalente à estampa 5, fig. A. Superfície adaxial.
Figura 11- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 60, equivalente à estampa 3, fig. A, B. Superfície abaxial, com cicatrizes circulares de inserção de tricomas; observar que há um alinhamento das cicatrizes em alguns trechos do ráquis.
Figura 12- ***Pecopteris taguaiensis*** Rohn & Rösler, 1986. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 71B, equivalente à estampa 4, figs, A, B, C. Superfície adaxial preservada.

Tabela 2A. Valores medidos e calculados para *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986. As siglas correspondem a: **Lp**= largura da pina, **Cp**= comprimento da pina, **Aa**= ângulo do ápice da pina, **Lrp**= largura do ráquis da pina, **Npl**= número de pínulas em cada lado da pina, **Pl/10 mm**= pínula por centímetro, **Apl**= ângulo de conecção da pínula, **Lpl**= largura da pínula, **Cpl**= comprimento da pínula, **Cpl/Lpl**= comprimento / largura da pínula, **A°vs**= ângulo de emissão das veias secundárias, **N°vs**= número de veias secundárias em cada lado da pínula, **N°vs/mm**= número de veias secundárias por milímetro, **Lvm**= largura da veia mediana, **Cvm**= comprimento da veia mediana, **Lvs**= largura da veia secundária, **Cvs**= comprimento da veia secundária.

Pina/URC PT-	55	56	57A	57B	58A	58C	59	60	61	62	63A	63B	63C	64	65	66A	66B
Lp	15 mm	9,5 mm	9 mm	11,5 mm	11,5 mm	7 mm	11,65 mm	12 mm	9,5 mm	7 mm	13,85 mm	8 mm	11,5 mm	18,5 mm	Não presr.	12,5 mm	10 mm
Cp	26 mm	14 mm	48 mm	15 mm	36 mm	21 mm	24 mm	16 mm	13 mm	19 mm	30 mm	8,85 mm	20 mm	15 mm	Não presr.	15 mm	15 mm
Aa	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	80,5°	60° a 70°
Lrp	0,8 mm	0,6 mm	0,6 mm	1 mm	Não presr.	Não presr.	1,5 mm	2,5 mm	0,6 mm	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.
Npl	12	6	20	6	14	13	12	6	6	10	11	3	8	5	Não presr.	4	5
Pl/10 mm	4,5	4	4,15	4	4	6	5	3,75	4,5	5	3,5	3,75	4	3	Não presr.	2,5	3
Apl	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	75°	90°	Não presr.	Não presr.	90°	90°	Não presr.	60°	60°
Pínula																	
Lpl	2,5mm	2,0 mm	2 mm	20 mm	2,5 mm	1,5 mm	2,5 mm	2 mm	1,85 mm	2 mm	2,85 mm	2 mm	3 mm	2,85 mm	4 mm	3 mm	3 mm
Cpl	7 mm	5,0 mm	6 mm	5 mm	7 mm	3,55 mm	6 mm	4,5 mm	5 mm	3,5 mm	7 mm	4 mm	9 mm	7,5mm	10 mm	6,5 mm	4,5 mm
Cpl/Lpl	3	2,5	3	2,5	3	2,35	1,85 a 2,5	2,25	3	1,75	2,45	2	3	2,5	2,5	2,15	1,5
Venação																	
A°vs	40° a 55°	Não presr.	Não presr.	40° a 45°	40° a 45°	Não presr.	45° a 50°	45° a 50°	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	35° a 45°	Não presr.	Não presr.
N°vs	8	Não presr.	Não presr.	7	Não presr.	Não presr.	9	7	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	9	Não presr.	Não presr.
N°vs/mm	1,15	Não presr.	Não presr.	1,5	Não presr.	Não presr.	1,5	1,55	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	1	Não presr.	Não presr.
Lvm	muito fina	Não presr.	Não presr.	0,4 mm	Não presr.	Não presr.	0,3 mm	0,4 mm	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	0,8 mm	Não presr.	Não presr.
Cvm	muito fina	Não presr.	Não presr.	3,5 mm	Não presr.	Não presr.	3,85 mm	4 mm	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	8 mm	Não presr.	Não presr.
Lvs	muito fina	Não presr.	Não presr.	0,5 mm	Não presr.	Não presr.	0,4 mm	0,5 mm	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	0,5 mm	Não presr.	Não presr.
Cvs	muito fina	Não presr.	Não presr.	0,7 mm	Não presr.	Não presr.	0,8 mm	1 mm	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	1 mm	Não presr.	Não presr.
Superficie																	
Adaxial	x	x	x		x	x			x	x	x	x	x	x		x	x
Abaxial				x			x	x							x		

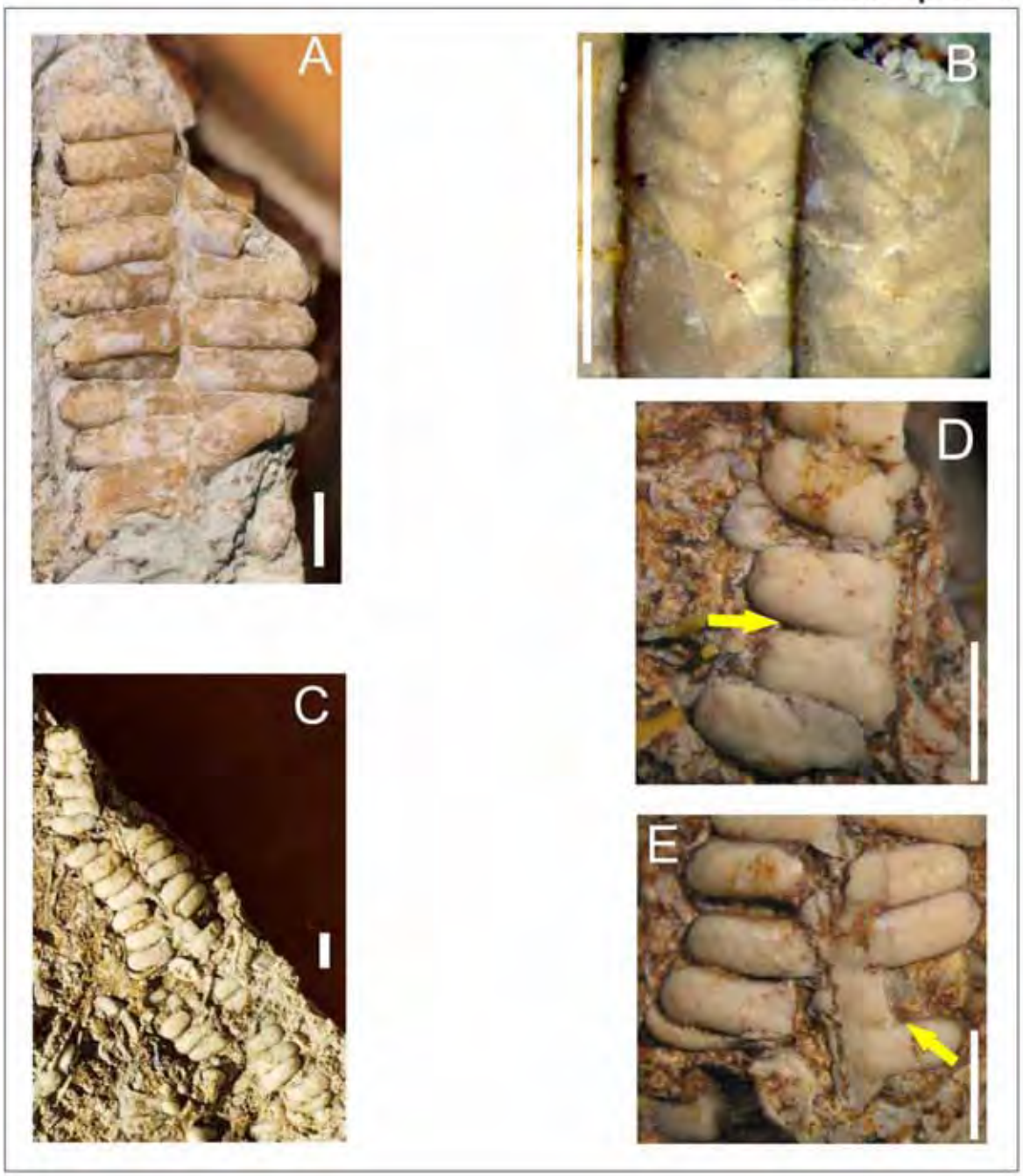
Tabela 2B. Valores medidos e calculados para *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986. As siglas correspondem a: **Lp**= largura da pina, **Cp**= comprimento da pina, **Aa**= ângulo do ápice da pina, **Lrp**= largura do ráquis da pina, **Npl**= número de pínulas em cada lado da pina, **Pl/10 mm**= pínula por centímetro, **Apl**= ângulo de conecção da pínula, **Lpl**= largura da pínula, **Cpl**= comprimento da pínula, **Cpl/Lpl**= comprimento / largura da pínula, **A°vs**= ângulo de emissão das veias secundárias, **N°vs**= número de veias secundárias em cada lado da pínula, **N°vs/mm**= número de veias secundárias por milímetro, **Lvm**= largura da veia mediana, **Cvm**= comprimento da veia mediana, **Lvs**= largura da veia secundária, **Cvs**= comprimento da veia secundária.

Pina/URC PT-	67	68A	68B	71B	71C
Lp	16 mm	15,75 mm	Não presr.	9 mm	13,5 mm
Cp	20 mm	24 mm	Não presr.	24 mm	20 mm
Aa	Não presr.	Não presr.	Não presr.	80°	Não presr.
Lrp	Não presr.	Não presr.	Não presr.	1 mm	1 mm
Npl	6	7	Não presr.	6	6
Pl/10 mm	3	3	Não presr.	3	3
Apl	Não presr.	80°	Não presr.	60° a 90°	90°
Pínula					
Lpl	4 mm	30mm	3,5 mm	2,5 mm	2,5 mm
Cpl	6,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	6,5 mm	6 mm
Cpl/Lpl	1,6	1,6	2,5	2,5	2,5 mm
Venação					
A°vs	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.
N°vs	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.
N°vs/mm	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.
Lvm	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.
Cvm	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.
Lvs	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.
Cvs	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.
Superfície					
Adaxial	x	x	x	x	x
Abaxial					

Tabela 3. Comparação das análises morfométricas entre o material aqui analisado e os exemplares de Rohn & Rösler (1986) de *Pecopteris taguaiensis*. Os dados quantitativos apresentam relativa discrepância quanto à largura e ao comprimento das pinas, e ao número de pínulas em cada lado da pina, o que pode ser explicado pelo estado mais fragmentário das pinas aqui analisadas.**Lp**= largura da pina, **Cp**= comprimento da pina, **Aa**= ângulo do ápice da pina, **Lrp**= largura do ráquis da pina, **Npl**= número de pínulas em cada lado da pina, **Pl/10 mm**= pínula por centímetro, **Apl**= ângulo de conecção da pínula, **Lpl**= largura da pínula, **Cpl**= comprimento da pínula, **Cpl/Lpl**= comprimento / largura da pínula, **A°vs**= ângulo de emissão das veias secundárias, **N°vs**= número de veias secundárias em cada lado da pínula, **N°vs/mm**= número de veias secundárias por milímetro.

Comparação	*Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986	Exemplares aqui analisados
Pinas		
Lp	13,6 mm a 21,8 mm	7 mm a 16,5 mm
CP	118 mm	13 mm a 48 mm
Aa	~ 90°	80°
Lrp	0,6 mm a 2,3 mm	0,6 mm a 2,5 mm
Npl	44 a 46	6 a 20
Pl/10 mm	3 a 5,1	3 a 6
Apl	73° a 90°	60° a 90°
Pínula		
Lpl	1,6 mm a 4,2 mm	1,5 mm a 4 mm
Cpl	5,7 mm a 10,6 mm	3,5 a 10 mm
Cpl/Lpl	2 a 3,2	1,6 a 3
Venação		
A°ns	37° a 74°	35° a 55°
N°ns	8 a 12	7 a 9
N°s/mm	0,97 a 1,73	1 a 1,55

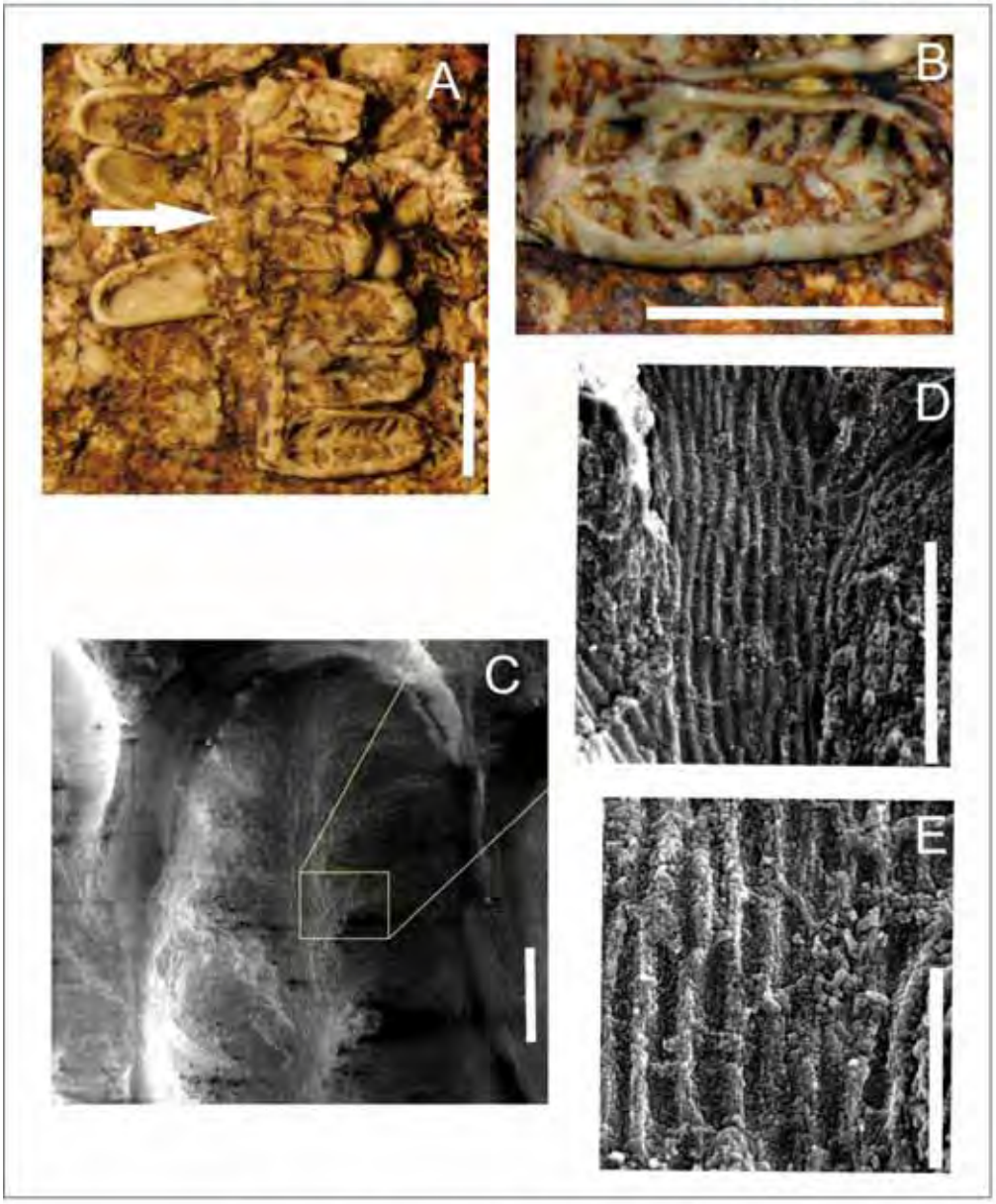
Estampa 1



***Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986**

A- Exemplar URC PT- 55- face adaxial. Escala = 4 mm.
B- Exemplar URC PT- 55- face adaxial, com venações finas em posição alterna. Escala = 4 mm.
C- Exemplar URC PT- 57A- face adaxial. Escala = 4 mm.
D, E- Exemplar URC PT- 57A- face adaxial. As setas indicam coalescência das margens das pínulas. Escala = 4 mm.

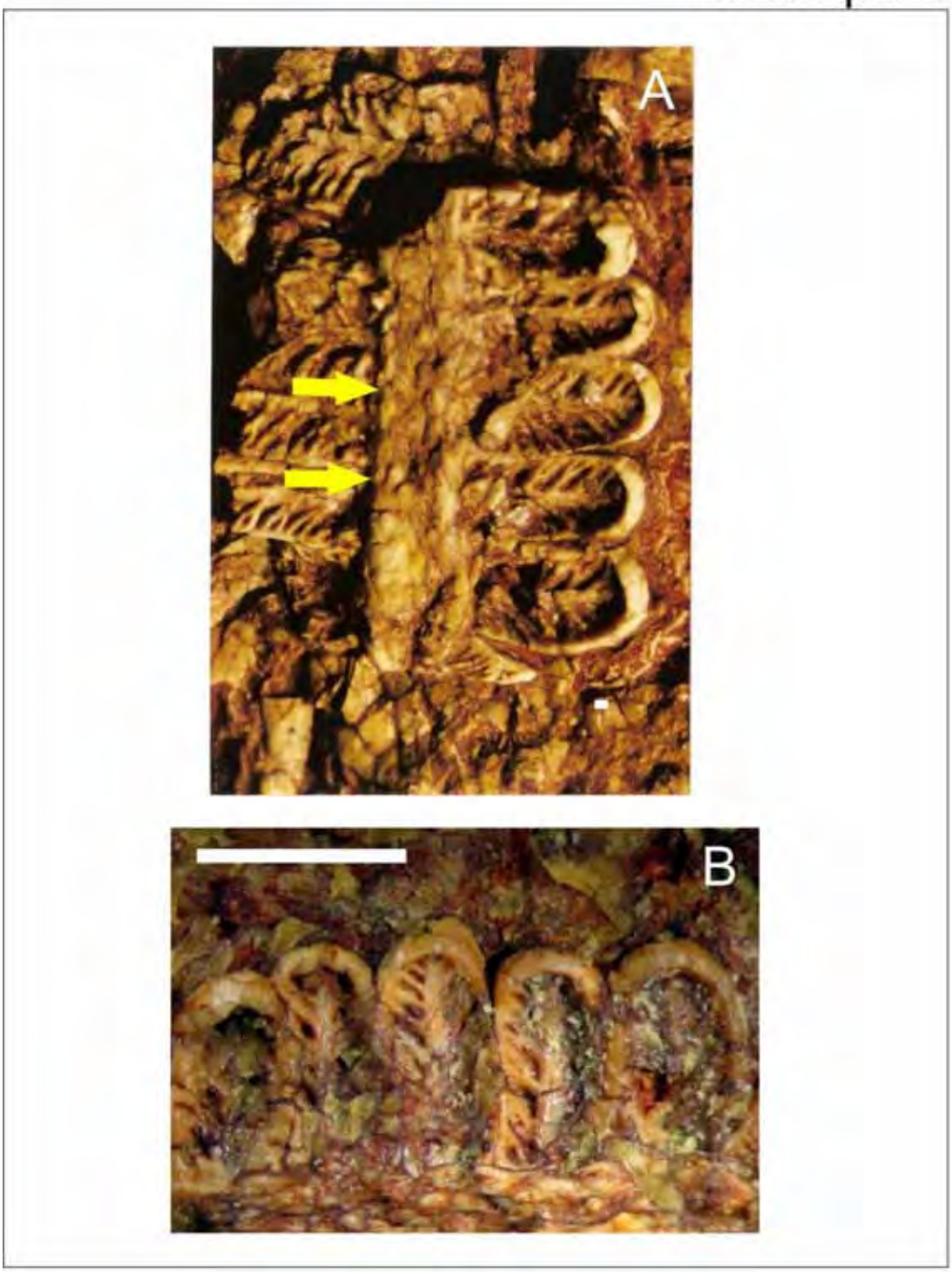
Estampa 2



***Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986**

A- Exemplar URC PT- 57B- face abaxial; observar o encurvamento do ápice e margens para o lada abaxial do limbo, a seta indica cicatrizes de tricomas. Escala = 4 mm.
B- Exemplar URC PT- 57B- face abaxial, mostrando distribuição e organização das veias secundárias e mediana da pínula. Escala = 4 mm.
C- Exemplar URC PT- 57B- imagem ao MEV de molde de látex da superfície abaxial de uma das pínulas. Escala = 1 mm.
D- Exemplar URC PT- 57B- MEV das células epidérmicas que constituíam a venação mediana da pínula. Escala = 500 μm.
E- Exemplar URC PT- 57B- detalhe da forma alongada e retangular das células epidérmicas da venação mediana, observadas através do MEV. Escala = 200 μm.

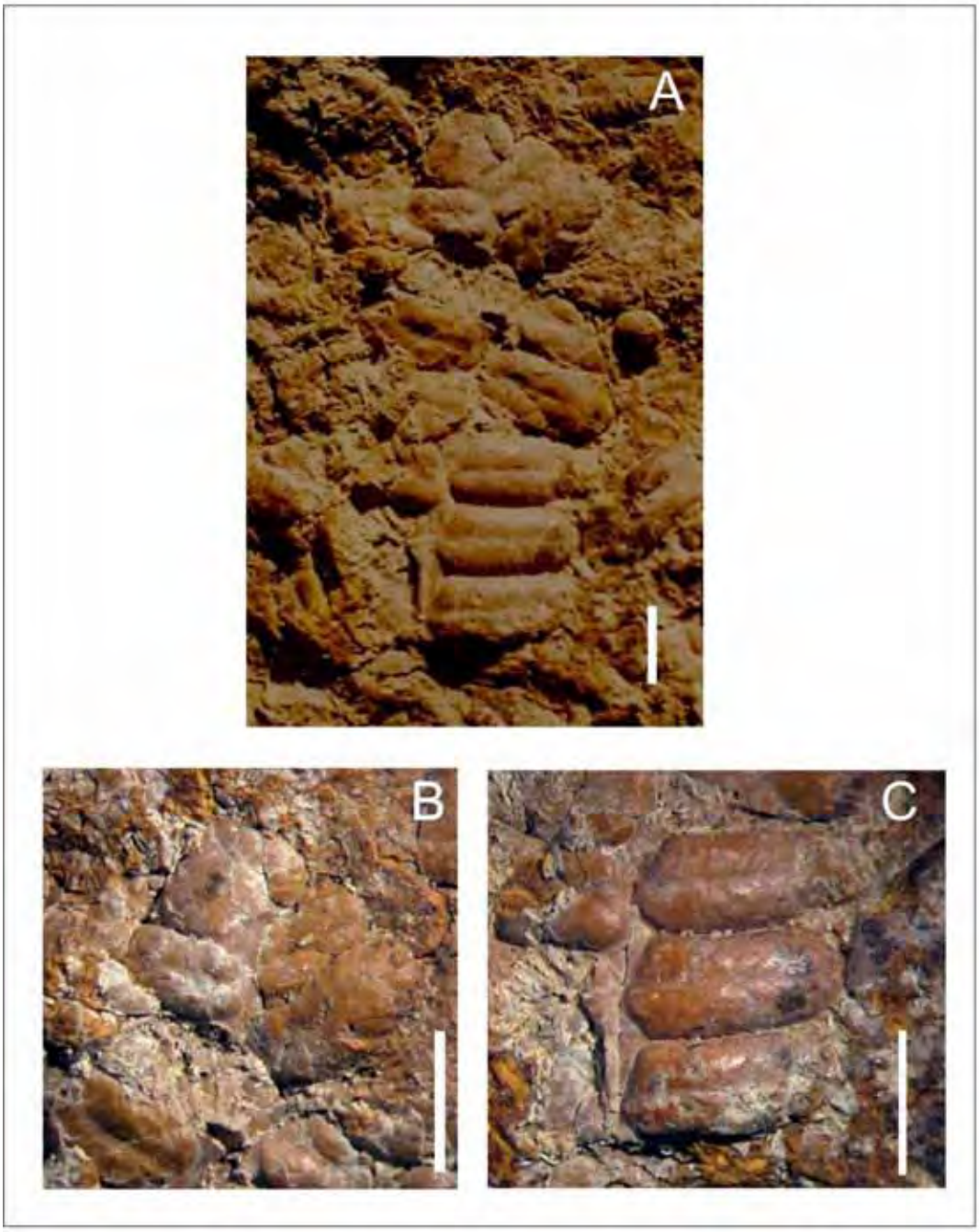
Estampa 3



***Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986**

A- Exemplar URC PT- 60- face abaxial, com ápice do limbo da pínula encurvado para a face abaxial. As setas indicam cicatrizes de tricomas. Escala = 4 mm.
B- Exemplar URC PT- 60- detalhe das veias medianas e secundárias. Notar que as veias secundárias próximas ao ápice não apresentam bifurcação. Escala = 4 mm.

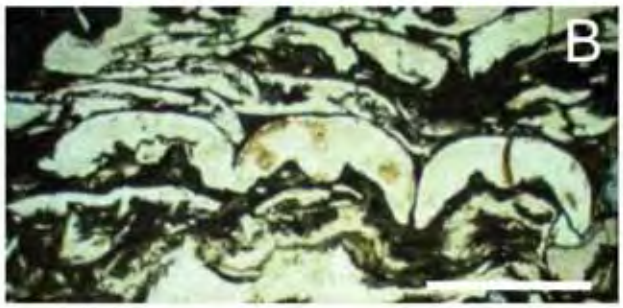
Estampa 4



***Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986**

A- Exemplar URC PT-71B- face adaxial. Escala = 4 mm.
B- Exemplar URC PT-71B - detalhe do ápice da pina com formato triangular e pínulas coalescidas. Escala = 4 mm.
C- Exemplar URC PT-71B- detalhe do corpo da pina; as pínulas medianas têm margens livres desde a base. Veia mediana pouco marcada. Escala = 4 mm.

Estampa 5



***Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, 1986**

A- Exemplar URC PT- 66B- face adaxial. Notar o ápice de formato triângular. Escala = 4 mm.
B- Lâmina petrográfica URC PT- 70 de corte transversal de três pínulas. Observar a espessura do limbo foliar. Escala = 500 μm.

***Pecopteris* sp. 1**

(Fig. 13A,B Est. 6 -7)

Amostras: URC PT- 69, URC PT- 72A, URC PT- 72F, URC PT- 75.

Descrição:

Trata-se de fragmentos de pinas oblongas a ligeiramente lanceoladas expostas com a superfície adaxial para cima. Três exemplares são permineralizações por sílica e o exemplar URC PT- 75 preservado na forma de impressão (Fig. 13B; Est. 7, fig. B). A pina menor tem 7,0 mm de largura e a maior, 18,5 mm. Os comprimentos preservados das pinas variam entre 15,0 mm e 30,0 mm. O ráquis é aparentemente delicado com 0,75 mm de largura e mal preservado; não há indícios de carena ou sulco longitudinal. As pínulas estão levemente oblíquas no ráquis em ângulos de 70° a 80° e dispostas de modo oposto na maior parte da pina, tendendo a alternas na porção distal. O número de pínulas em cada lado da pina varia de 2 a 9, e a densidade de pínulas por centímetro é de 1 a 3. As pínulas têm comprimento de 6,0 mm a 11,0 mm, e a largura varia de 2,5 mm a 4 mm, sendo mais comum 3,5 mm; a razão comprimento / largura compreende 2 a 2,75. É possível verificar claramente na pina URC PT- 72A que as pínulas basais são maiores que as apicais (Fig. 13A; Est. 6, fig. A). As pínulas têm bases totalmente conectadas ao ráquis, são oblongas, de margem lisa e ligeiramente paralela, contíguas e coalescidas lateralmente desde a base, até a distância de aproximadamente $^{1}/_{3}$ do seu comprimento. O ápice é arredondado. As pínulas encurvam-se ligeiramente rumo à porção distal da pina (Fig. 13A; Est. 6, fig. A). A veia mediana é destacada, alcança o ápice com dicotomia; seu comprimento varia entre 7,0 e 8,45 mm e a largura é relativamente pequena. As veias secundárias também são destacadas; em cada lado da veia mediana, com comprimento de 1,5 mm e largura relativamente pequena, elas estão distribuídas em número de 9 a 11 e dispostas de maneira alterna, emergindo em ângulos de 45° a 65°. As veias secundárias têm apenas uma bifurcação que se forma aproximadamente na metade da distância entre a veia mediana e a margem. Os ramos da bifurcação apresentam pequena divergência e o curso das veias secundárias é relativamente retilíneo. A densidade de veias é 1 veia / mm.

Aspectos anatômicos: No exemplar URC PT- 72A (Fig. 13A; Est. 6, figs. C, D) houve a preservação das células epidérmicas intervenais das pínulas. As células anticlinais intervenais provavelmente recobriam toda a superfície da lâmina foliar, com exceção das veias laterais e mediana, que neste exemplar não estão preservadas. Apresentam formas variadas, geralmente alongadas, sendo levemente retangulares com margens arredondadas, com comprimento de 63 µm e largura de 37 µm (Est. 6, figs. C, D). Não há preservação de cicatrizes de tricomas ou mesmo estômatos. As dimensões dos exemplares estão indicadas na Tabela 4.

Discussão:

Os exemplares não podem ser atribuídos a *Pecopteris taguaiensis* devido à inserção mais oblíqua das pínulas ao ráquis e pelo seu ligeiro encurvamento rumo ao ápice da pina. Os exemplares assemelham-se estruturalmente a *Pecopteris* sp. de Mendes (1967) proveniente de Mallet, no Estado do Paraná, atribuído à Formação Estrada Nova, provavelmente no Membro Serrinha. Porém, não há qualquer descrição formal do exemplar, o que permite apenas verificar que as amostras aqui analisadas têm ráquis menos espesso, pínulas basais e medianas alternas, características estas que a diferenciam do exemplar de Mendes.

Pecopteris sp. 1 de Piracicaba é semelhante à *Pecopteris* sp. de Bortoluzzi (1975), procedente da Formação Irati. As diferenças dos exemplares aqui analisados estão no ráquis da pina, que é menos espesso, pínulas com as margens coalescidas lateralmente desde a base, veias secundárias aparentemente mais finas e ligeiramente distantes umas das outras, com espaço intervenal maior, e dicotomia próxima à margem.

Pecopteris sp. 1 de Piracicaba é muito semelhante a *Asterotheca leeukuilensis* Anderson & Anderson 1985, proveniente de Vereeniging, na África do Sul, da Bacia Karoo, Grupo Ecca. A diferença reside em veias secundárias retilíneas e ausência de estruturas férteis; outras comparações são limitadas pelas poucas informações contidas na diagnose da espécie africana.

Pecopteris sp. 1 de Piracicaba lembra *Pecopteris* sp. II de Cazzulo-Klepzig (1978), procedente da Formação Rio do Rasto, Membro Morro Pelado, no Estado de Santa Catarina, quanto à forma da pina e pínulas, mas os exemplares aqui analisados diferem por apresentarem veias secundárias com apenas uma bifurcação, a qual é formada mais próxima à margem, nas

pínulas maiores. Cabe salientar que a fotografia e o desenho do exemplar de Santa Catariana não colaboram na verificação de boa parte das estruturas citadas na descrição.

Outra comparação é realizada com *Gemellitheca saudica* Wagner et al. (1985), procedente da Arábia Saudita e Turquia, quanto à forma geral das pinas. As diferenças resultam nas bifurcações das veias secundárias que ocorrem próximas à margem, por serem mais curtas e com ramos dicotômicos menos divergentes, ráquis menos robustos, baixa densidade de veias secundárias por milímetro (1), e ausência de estruturas reprodutivas. As células epidérmicas das veias e as áreas intervenais apresentam características semelhantes quanto à forma, embora a face analisada das pinas de Piracicaba tenha sido a adaxial, e não há cicatrizes de tricomas ou estômatos.

Os exemplares analisados apresentam semelhanças com *Pecopteris cadeadensis* Rohn & Rösler, 1986, da Formação Rio do Rasto, no Estado do Paraná, mas diferem pela ausência de espaçamento entre as pínulas, veia mediana mais delicada, e dicotomias das veias secundárias mais próximas à margem da pínula.

Assemelham-se estruturalmente a *Asansolia phegopteroides* Pant & Misra, 1976, procedente de áreas de carvão, em Raniganj, na Índia. As diferenças são veias secundárias em menor densidade na pínula, maior distância entre as veias secundárias proximais das pínulas e o ráquis e ausência de espaçamento entre as pínulas. Quanto às células intervenais, elas não apresentam formas sinuosas e os exemplares são estéreis.

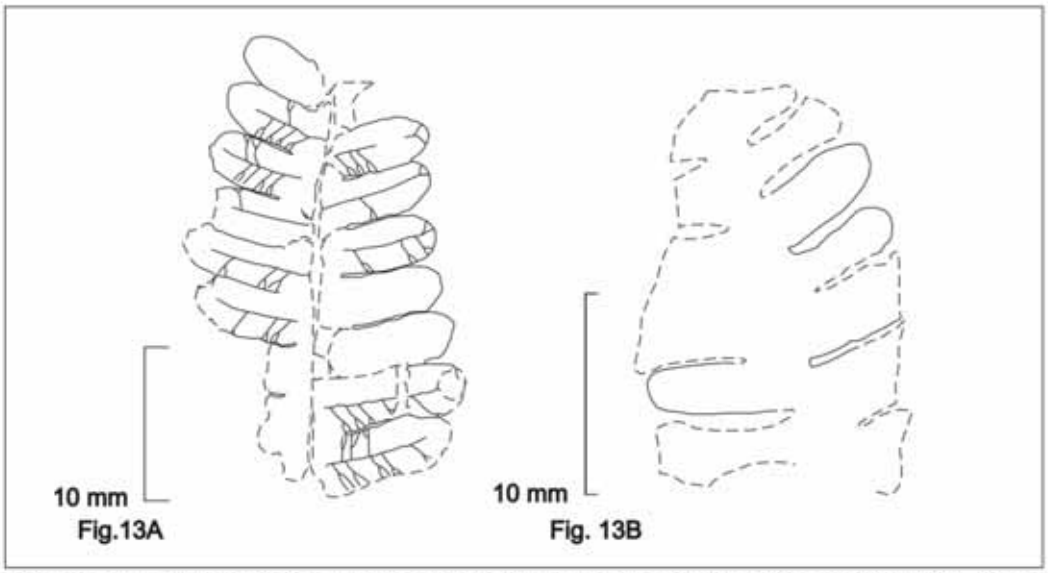
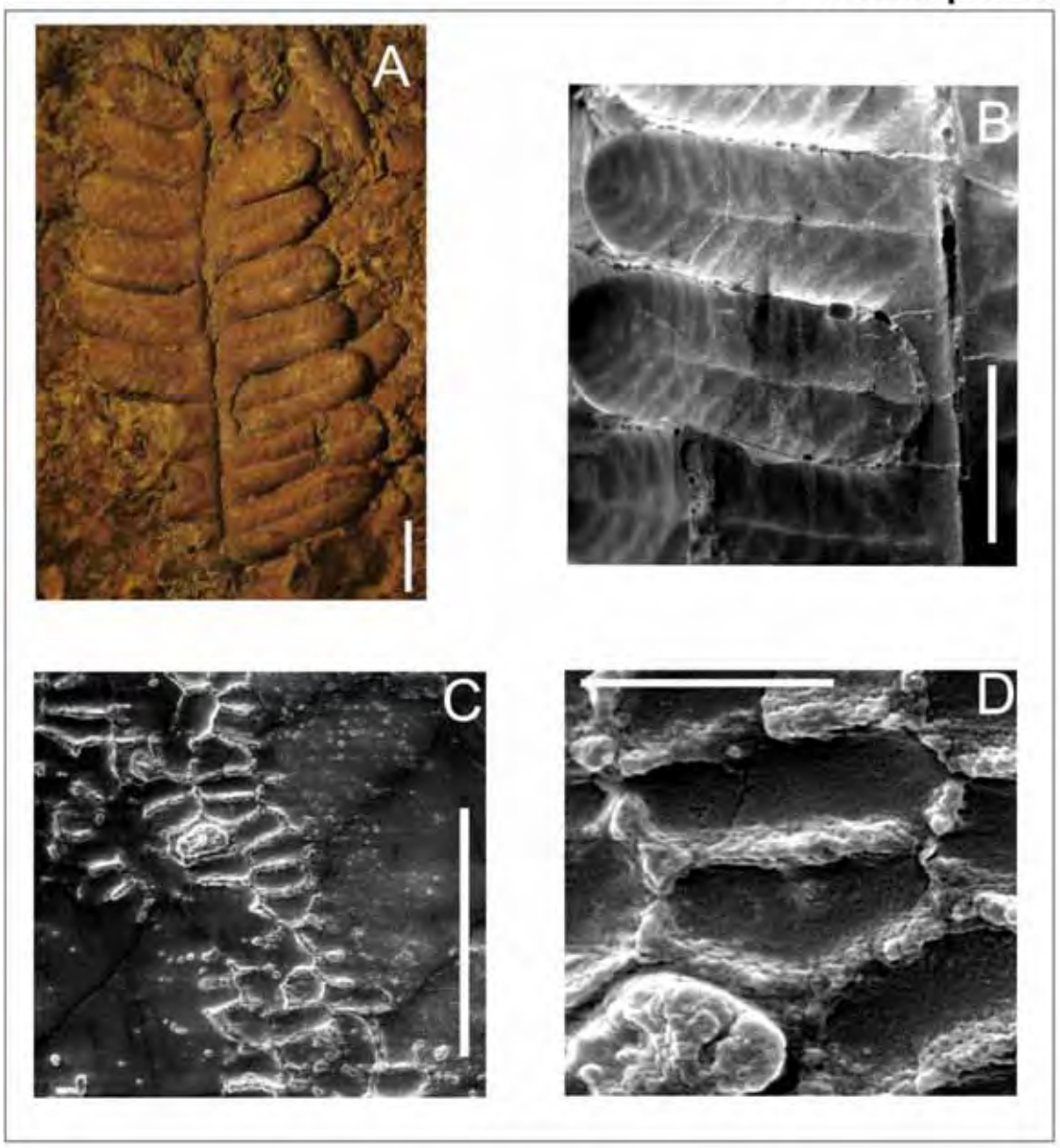


Figura 13A- ***Pecopteris*** **sp. 1**. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 72A. Notar a coalescência das margens.
Figura 13B- ***Pecopteris*** **sp. 1**. Desenho em câmera-clara do exemplar r URC PT- 75 .

Tabela 4. Valores medidos e calculados para *Pecopteris* sp. 1. As siglas correspondem a: **Lp**= largura da pina, **Cp**= comprimento da pina, **Aa**= ângulo do ápice da pina, **Lrp**= largura do ráquis da pina, **Npl**= número de pínulas em cada lado da pina, **Pl/10 mm**= pínula por centímetro, **Apl**= ângulo de conecção da pínula, **Lpl**= largura da pínula, **Cpl**= comprimento da pínula, **Cpl/Lpl**= comprimento / largura da pínula, **A°vs**= ângulo de emissão das veias secundárias, **N°vs**= número de veias secundárias em cada lado da pínula, **N°vs/mm**= número de veias secundárias por milímetro, **Lvm**= largura da veia mediana, **Cvm**= comprimento da veia mediana, **Lvs**= largura da veia secundária, **Cvs**= comprimento da veia secundária.

Pinas/URC PT-	69	72A	72F	75
Lp	Não presr.	18,5 mm	7 mm	13 mm
CP	Não presr.	30 mm	15 mm	20 mm
Aa	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.
Lrp	Não presr.	0,75 mm	Não presr.	Não presr.
Npl	Não presr.	9	2	6
Pl/10 mm	Não presr.	3	1	3
Apl	Não presr.	70° a 80°	Não presr.	80°
Pínula				
Lpl	4 mm	3 a 3,5mm	3,5 mm	2,5 mm
Cpl	11 mm	7 a 9 mm	7,5 mm	6 mm
Cpl/Lpl	2,75	2 a 2,5	2,15	2,5
Venação				
A°vs	Não presr.	45° a 65°	Não presr.	Não presr.
N°vs	Não presr.	9 a 11	Não presr.	Não presr.
N°vs/mm	Não presr.	1	Não presr.	Não presr.
Lvm	Não presr.	Muito fina	Não presr.	Não presr.
Cvm	Não presr.	7 a 8,45 mm	Não presr.	Não presr.
Lvs	Não presr.	Muito fina	Não presr.	Não presr.
Cvs	Não presr.	1,5 mm	Não presr.	Não presr.
Superfície				
Adaxial	x	x	x	x
Abaxial				

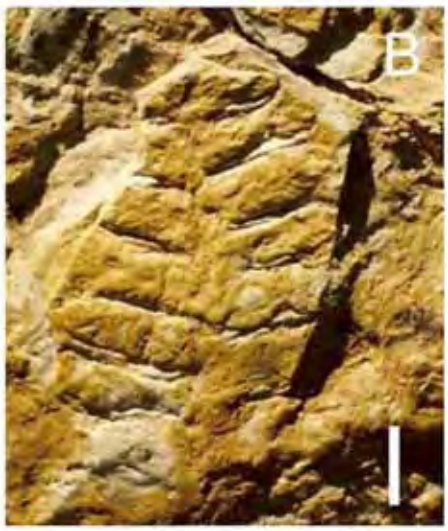
Estampa 6



***Pecopteris* sp.1**

A- Exemplar URC PT- 72A- face adaxial. Escala = 4 mm.
B- Detalhe do exemplar URC PT- 72A , em imagem ao MEV do molde de látex da superfície adaxial. Escala = 5 mm.
C- Epiderme da área intervenal adaxial de uma pínula do exemplar URC PT- 72A, obtida em molde de látex pelo MEV. Escala = 500 µm.
D- Exemplar URC PT- 72A- detalhe da forma das células epidérmicas da letra C, obtida pelo MEV. Escala = 100 µm.

Estampa 7



***Pecopteris* sp.1**

A- Exemplar URC PT- 72A- face adaxial. Observar a coalecência adaxial entre algumas pínulas, o calibre fino das veias medianas e secundárias e o trajeto retilíneo das veias secundárias em direção à margem. Ráquis caracterizado por sulco estriado na superfície adaxial. Escala = 4 mm.
B- Exemplar URC PT- 75 - provável impressão da face adaxial. Escala = 4 mm.

***Pecopteris* sp. 2**

(Fig. 14, Est. 8)

Amostra: URC PT- 73

Descrição:

Este material compreende um fragmento de pínula permineralizado por sílica exposto com a superfície adaxial para cima, sem ápice e base preservados. A pínula tem 14,0 mm de comprimento e 3,0 mm de largura, razão comprimento / largura 4,5. A forma da pínula é oblonga com margens tendendo a lobuladas. Os lóbulos são mais proeminentes na região basal e mediana em relação aos lóbulos apicais, estão dispostos alternadamente e são ligeiramente assimétricos. Apenas a veia mediana pode ser observada e seu comprimento é 13,0 mm, a largura é relativamente pequena. A posição das veias secundárias pode ser deduzida pela posição dos lóbulos. As células epidérmicas correspondentes às veias secundárias e mediana não estão preservadas. Ao contrário, a parede das células anticlinais intervenais preservaram-se. Estas apresentam formas sublosangulares a subquadradas, às vezes levemente elípticas, com comprimento médio de 40 µm e largura média de 24 µm. Provavelmente recobriam toda a superfície adaxial da lâmina foliar, com exceção das veias secundárias e mediana. Não há preservação de cicatrizes de tricomas ou mesmo estômatos. Os principais dados morfométricos encontram-se na Tabela 5.

Discussão:

Este exemplar talvez seja uma pina jovem, com ráquis pouco proeminente. A separação de cada pequeno lóbulo talvez represente a margem de uma outra pínula, ainda muito pequena. Outra possibilidade é que se trata de uma pínula já desenvolvida com possíveis estruturas reprodutivas. Neste caso a condição lobada da pínula representaria o encurvamento da margem do limbo para proteção das estruturas na superfície abaxial, e as veias de fato seriam muito tênues. As células intervenais do exemplar URC PT- 73 (Est. 8) diferem daquelas de *Pecopteris* sp. 1, por serem ligeiramente menores e apresentarem forma pentagonal e elíptica.

O exemplar assemelha-se estruturalmente à forma das pínulas de *Pecopteris pedrasica* Read (1941), de Cambuí, no Estado do Paraná. As diferenças residem no caráter muito tênue das veias secundárias, e pela largura proporcionalmente menor da base da pínula.

Uma breve comparação pode ser realizada com *Pecopteris* sp. de Leguizamon (1972), da Província de Cordoba, na Argentina, atribuída à Formação Tasa Cuna, quanto à forma da pínula. Porém, na descrição da forma argentina não há dados morfométricos e a figura permite apenas observar que as pínulas apresentam lobulações e veia mediana proeminente.

Pecopteris sp. 2 assemelha-se também a *Pecopteris* sp. II de Vieira & Iannuzzi (2000), de Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul, Formação Rio Bonito. As diferenças encontram-se nos lóbulos mais simétricos e a base da pínula aparentemente mais estreita. Outras comparações não podem ser realizadas devido ao estado incompleto do exemplar.

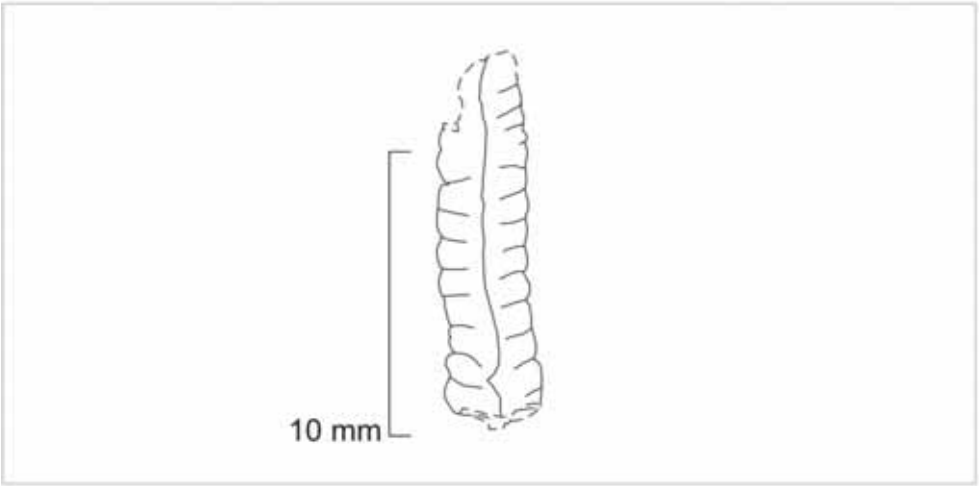
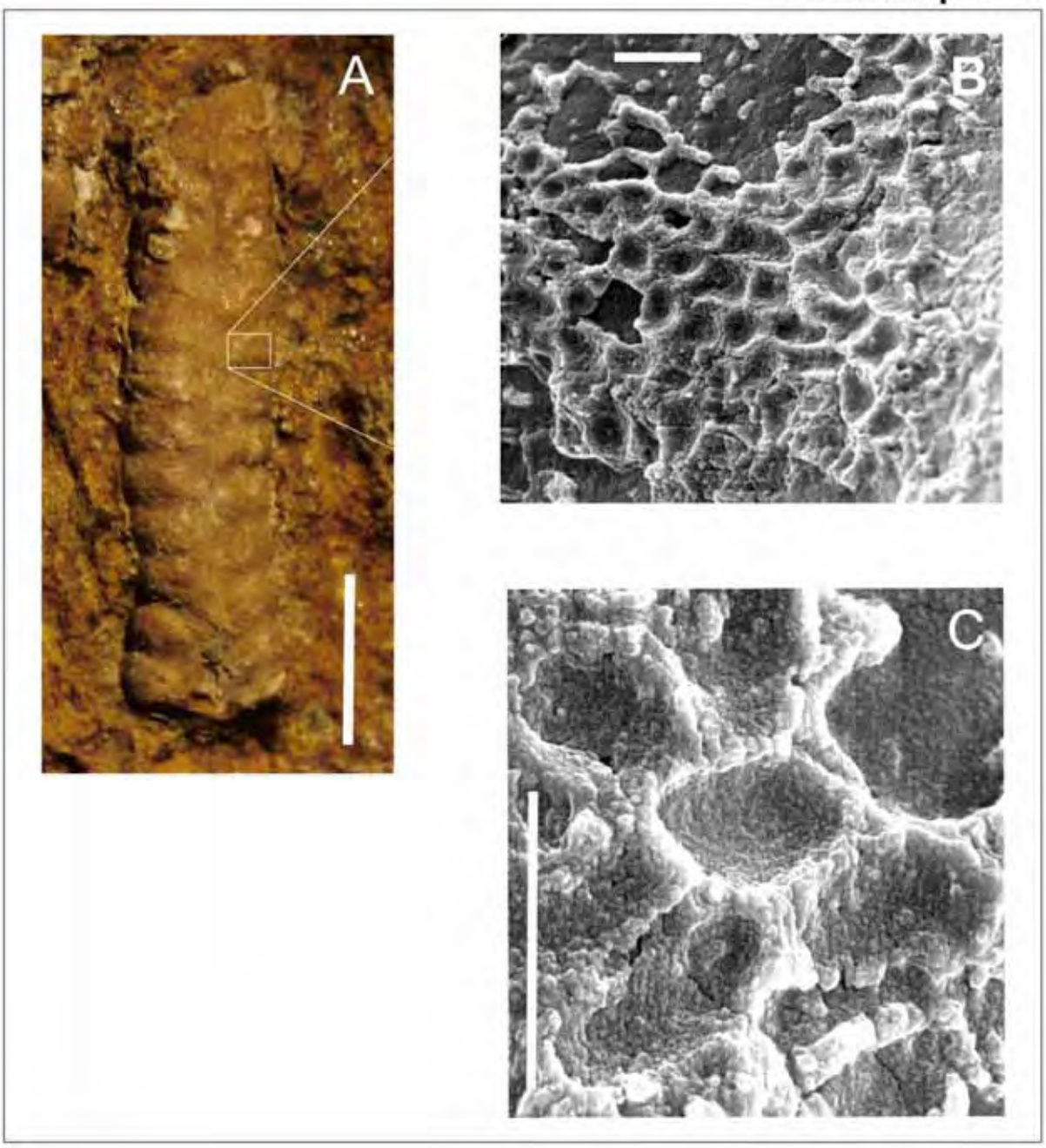


Figura 14- ***Pecopteris*** **sp 2**. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 73.

Tabela 5. Valores medidos e calculados para *Pecopteris* sp. 2. As siglas correspondem a: **Lp**= largura da pina, **Cp**= comprimento da pina, **Aa**= ângulo do ápice da pina, **Lrp**= largura do ráquis da pina, **Npl**= número de pínulas em cada lado da pina, **Pl/10 mm**= pínula por centímetro, **Apl**= ângulo de conecção da pínula, **Lpl**= largura da pínula, **Cpl**= comprimento da pínula, **Cpl/Lpl**= comprimento / largura da pínula, **A°vs**= ângulo de emissão das veias secundárias, **N°vs**= número de veias secundárias em cada lado da pínula, **N°vs/mm**= número de veias secundárias por milímetro, **Lvm**= largura da veia mediana, **Cvm**= comprimento da veia mediana, **Lvs**= largura da veias secundária, **Cvs**= comprimento da veia secundária.

Pina/URC PT-	73
Lp	Não presr.
CP	Não presr.
Aa	Não presr.
Lrp	Não presr.
Npl	Não presr.
Pl/10 mm	Não presr.
Apl	Não presr.
Pínula	
Lpl	3 mm
Cpl	14 mm
Cpl/Lpl	4,5
Venação	
A°vs	Não presr.
N°vs	Não presr.
N°vs/mm	Não presr.
Lvm	Não presr.
Cvm	13 mm
Lvs	Não presr.
Cvs	Não presr.
Superfície	
Adaxial	x
Abaxial	

Estampa 8



***Pecopteris* sp. 2**

A- Exemplar URC PT- 73- face adaxial. Escala = 4 mm.
B- Exemplar URC PT- 73 - células epidérmicas da área intervenal, observadas com auxílio do MEV, em molde de látex. Escala = 100 µm.
C- Exemplar URC PT- 73- formas levemente sublosangulares a subquadradas das células epidérmicas intervenais, observadas com auxílio do MEV. Escala = 100 µm.

***Pecopteris* sp. 3**

(Fig. 15. Est. 9)

Amostra: URC PT- 74E e URC PT- 74G

Descrição:

Fragmentos de pinas permineralizadas por sílica, com a superfície adaxial exposta e a porção distal preservada. O comprimento dos dois fragmentos de pinas analisadas é de 10,0 mm e 23,0 mm, e as larguras máximas são, respectivamente 7,0 mm e 9,0 mm. O ápice é agudo (35° a 40°), imparipenado e pinatífido, apresentando pínula apical mais longa que as laterais. O ráquis não está preservado, mas na respectiva região aparece um fino sulco irregular. As pínulas são oblongas e têm margens lisas e inteiras. O ápice é arredondado. O número de pínulas preservadas em cada lado da pina compreende três a cinco. As pínulas estão conectadas em ângulo de 80° e são subopostas. As pínulas laterais possivelmente são coalescidas próximo à base; esta é totalmente conectada ao ráquis. O comprimento das pínulas varia de 3,0 mm a 6,0 mm e a largura compreende 1,85 mm a 2,5 mm; a razão comprimento / largura varia de 1 a 2,5. Apenas a veia mediana é observada e alcança o ápice, mas a preservação não permite verificar se há dicotomia. Existem cicatrizes circulares, possivelmente de inserção de tricomas próximo ao ápice das pínulas laterais, distribuídas aleatoriamente. As dimensões das estruturas morfológicas encontram-se na Tabela 6. Quanto à anatomia, o exemplar URC PT- 74G (Est. 9, fig. E) apresenta apenas as células anticlinais da região intervenal preservadas. Estas células têm forma losangular a levemente elíptica. O comprimento médio das células é de 145 µm e a largura média é de 24 µm. Também ocorrem estruturas circulares e protuberantes. Estas estruturas talvez correspondam ao estágio de desenvolvimento de algum anexo epidérmico, como pêlos, escamas ou papilas. O diâmetro destas estruturas varia de 105 µm a 140 µm (Est 9, figs. B, C, D).

Discussão:

Os exemplares são bastante distintos do ápice de *Pecopteris taguaiensis* e *Pecopteris* sp.1, pelo ângulo mais agudo e pínula distal mais longa. Existe relativa semelhança a *Pecopteris* sp. 2 quanto à forma das células intervenais, mas os exemplares apresentam nítida diferença morfológica e, portanto, não poderiam ser incluídos na mesma espécie. Os exemplares

assemelham-se muito ao ápice da pina de *Asterotheca feruglioi* Frenguelli Archangelsky & De La Sota, 1960 em Archangelsky & Arrondo (1973). Os autores responsáveis pela diagnose original da espécie mencionaram apenas que o ápice seria obtuso, sem informar outras características. Os exemplares aqui analisados estão muito incompletos para permitirem comparações mais eficazes com outras espécies.

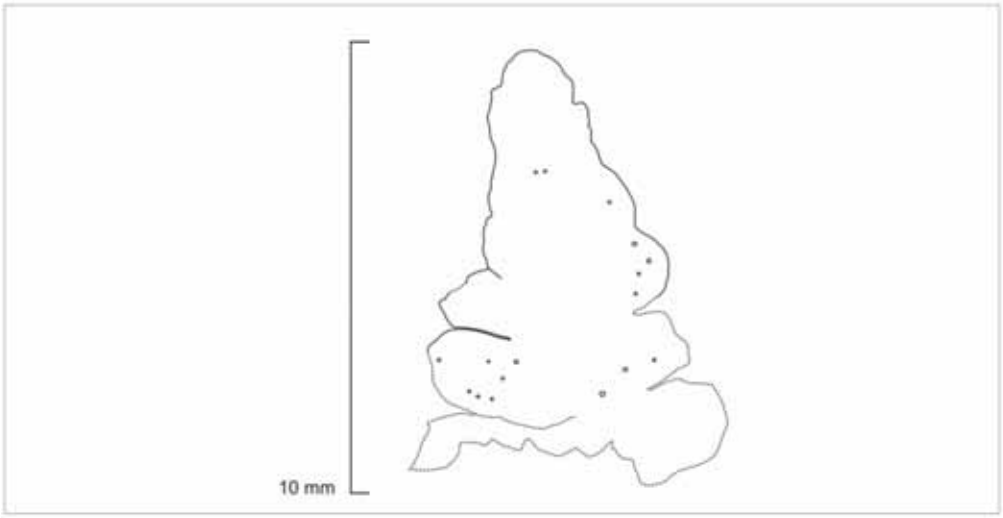
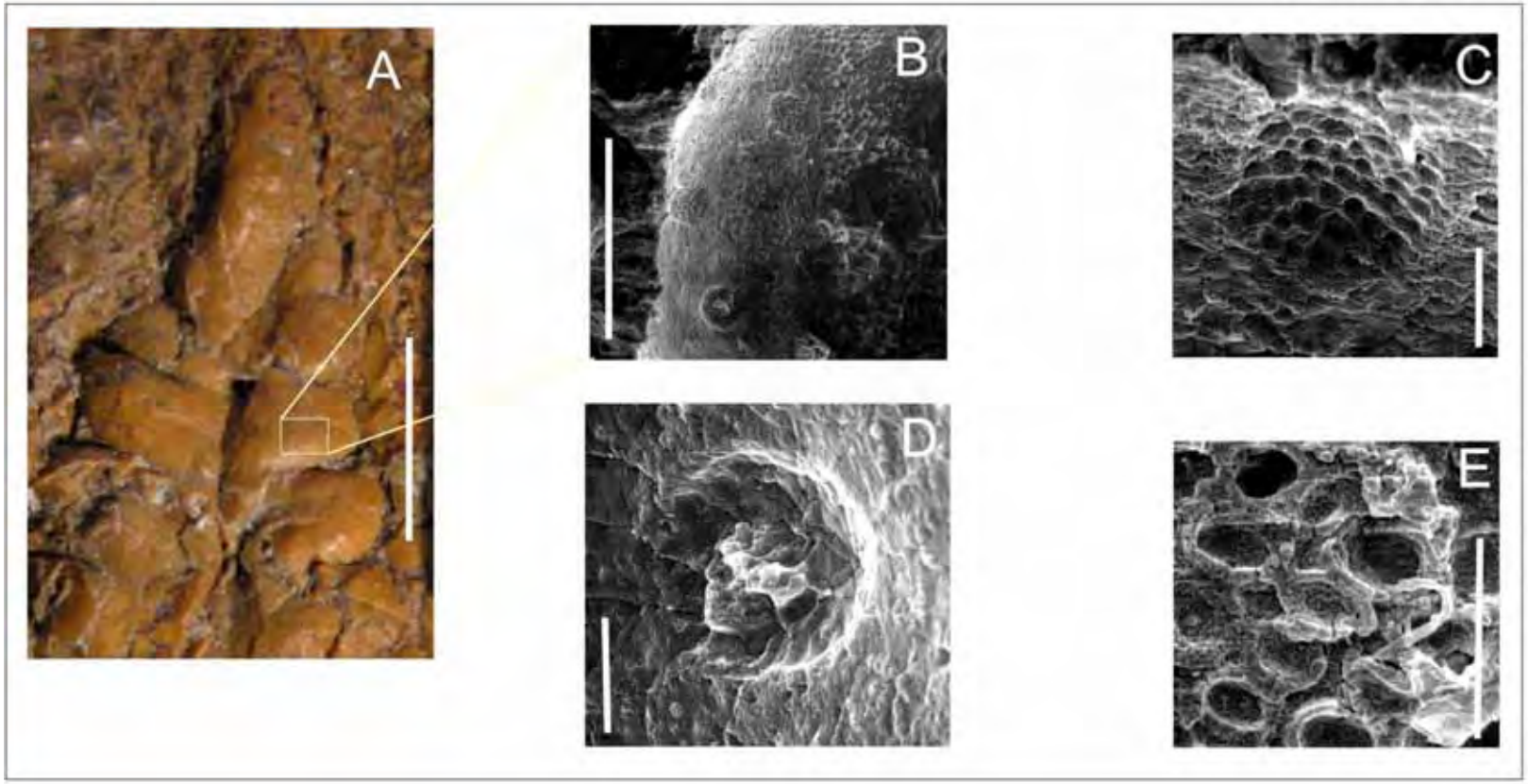


Figura 15- ***Pecopteris*** **sp. 3**. Desenho em câmera-clara do exemplar URC PT- 74G. As circunferências provavelmente correspondam a cicatrizes de tricomas.

Tabela 6. Valores medidos e calculados para *Pecopteris* sp. 3. As siglas correspondem a: **Lp**= largura da pina, **Cp**= comprimento da pina, **Aa**= ângulo do ápice da pina, **Lrp**= largura do ráquis da pina, **Npl**= número de pínulas em cada lado da pina, **Pl/10 mm**= pínula por centímetro, **Apl**= ângulo de conecção da pínula, **Lpl**= largura da pínula, **Cpl**= comprimento da pínula, **Cpl/Lpl**= comprimento / largura da pínula, **A°vs**= ângulo de emissão das veias secundárias, **N°vs**= número de veias secundárias em cada lado da pínula, **N°vs/mm**= número de veias secundárias por milímetro, **Lvm**= largura da veia mediana, **Cvm**= comprimento da veia mediana, **Lvs**= largura da veias secundária, **Cvs**= comprimento da veia secundária.

Pinas/URC PT-	74E	174G
Lp	9 mm	7 mm
CP	23 mm	10 mm
Aa	40°	35°
Lrp	Não presr.	Não presr.
Npl	5	3
Pl/10 mm	2	3
Apl	Não presr.	80°
Pínula		
Lpl	2,5 mm	1,85 a 2 mm
Cpl	5,25 a 6 mm	3 a 3,15 mm
Cpl/Lpl	2 a 2,5	1 a 1,5
Venação		
A°vs	Não presr.	Não presr.
N°vs	Não presr.	Não presr.
N°vs/mm	Não presr.	Não presr.
Lvm	Não presr.	Não presr.
Cvm	Não presr.	Não presr.
Lvs	Não presr.	Não presr.
Cvs	Não presr.	Não presr.
Superfície		
Adaxial	x	x
Abaxial		

Estampa 9



***Pecopteris* sp. 3**

A- Exemplar URC PT- 74G- face adaxial; a pínula destacada apresenta cicatrizes circulares de possíveis tricomas. Escala = 4 mm.
B- Exemplar URC PT- 74G- cicatrizes observadas com auxílio do MEV. Escala = 1 mm.
C-D- Exemplar URC PT- 74G- detalhes das cicatrizes, observadas com auxílio do MEV. Escala = 100 μm.
E- Exemplar URC PT- 74G- células epidérmicas, com a forma levemente elíptica, da área intervenal de uma outra pínula. Escala = 100 μm.

7. CONSIDERAÇÕES SOBRE CAULES DE FILICÍNEAS ARBÓREAS PERMO-CARBONÍFERAS

As principais filicíneas arbóreas conhecidas do Carbonífero e do Permiano são representadas por *Psaronius*. Os caules permineralizados por sílica, quando cortados e polidos, apresentam texturas atraentes, às vezes, coloridas, sendo muito explorados para fabricar objetos decorativos, embora a utilização dos fósseis para fins não-científicos seja proibida em muitos países, como no Brasil.

Os caules de filicíneas arbóreas fósseis foram inicialmente interpretados como sendo rochas com marcas de vermes ("Madenstein" na Alemanha) por causa da forma vermiforme de alguns meristelos em corte transversal. Somente no século XIX, Sprengel (1828 apud Rößler, 2001) verificou que os fósseis são caules de filicíneas. A denominação genérica *Psaronius* foi introduzida mais tarde, por Bernhard Cotta, em 1832. O material analisado era procedente da Alemanha.

As descobertas seguintes ocorreram em Autun, na França (Renault, 1893, 1896 apud Rößler, 2001) e na Turíngia, na Alemanha (Solms-Laubach, 1911 apud Rößler, 2001).

Este gênero também foi encontrado na América do Norte, nas camadas de carvão do Pensilvaniano, nos estados de Ohio e Illinois (Rößler, 2001). A boa preservação dos caules contribuiu não apenas para o conhecimento de novas espécies, mas também nos estudos dedicados à compreensão do desenvolvimento do estelo, formação de traços foliares, compreensão do manto radicular, além de análises ecológicas relacionadas a outros vegetais e animais.

Psaronius também é conhecido na província da Cataísia, na Formação Tayuan, em Heibei, no norte da China. Os caules encontram-se preservados em tufos vulcânicos (Hilton et al., 2001).

Os trabalhos de relevância sobre *Psaronius* podem ser encontrados em Stidd & Phillips (1968), Stidd (1971), Stidd (1974), Morgan (1959), Rothwell & Blickle (1982a, 1982b), Mickle (1984) e Rößler (2000, 2001).

A classificação de *Psaronius* não apresenta consenso. Muitos trabalhos referem-se diretamente ao gênero, sem levar em consideração outras categorias taxonômicas, como ordem

e/ou família. O presente trabalho segue a classificação adotada por Rößler (2001), onde *Psaronius* é incluído na Ordem Psaroniales Corsin, 1955.

Na América do Sul, a primeira descrição formal de *Psaronius* deve-se a Brongniart (1872), quando introduziu a espécie *Psaronius brasiliensis* Brongniart, 1872. A origem da amostra descrita é incerta e Morgan (1959) mencionou que é procedente da Chapada do Jaboti (MA), da Bacia do Parnaíba, de idade permiana.

Pelourde (1914) introduziu *Psaronius arrojadoi*, espécie seguramente baseada num exemplar da Chapada do Jaboti (MA). Derby (1913) fez um estudo sucinto da estrutura anatômica de fragmento de caule de filicínea pertencente à espécie *Psaronius brasiliensis*. Herbst (1985) considerou que *Psaronius arrojadoi* Pelourde poderia corresponder à parte distal de um exemplar de *Psaronius brasiliensis*. A partir de material procedente de Araguaína (TO), também da Bacia do Parnaíba, pertencente ao acervo da Universidade de Munique, Herbst (1999) descreveu amostras de *Psaronius* sp. e de mais uma nova espécie, *Psaronius sinuosus* Herbst, 1999. Os meristelos desta última espécie são muito mais longos e sinuosos do que os das outras espécies.

Os caules de Psaroniales mais abundantes da Bacia do Parnaíba, na realidade, não correspondem a *Psaronius*, mas pertencem ao gênero *Tietea*. Nesta bacia também foram identificados caules de filicíneas arbóreas de prováveis outras ordens, como o gênero *Grammatopteris*, que anteriormente era restrito à Alemanha (Rößler & Galtier, 2002a) e *Dernbachia*, até o momento encontrada somente na Bacia do Parnaíba (Rößler & Galtier, 2002b).

O gênero *Tietea* e sua espécie tipo, *Tietea singularis* foram propostos por Solms-Laubach (1913), representando um fragmento caulinar formado por estelo e manto radicular, encontrado em Tietê, no Estado de São Paulo, no vale do rio de mesmo nome, provavelmente na Formação Corumbataí. Derby (1915) realizou estudo anatômico de outro fragmento de *Tietea singularis*, também do Estado de São Paulo.

Herbst (1986), analisando caules de várias localidades dos estados de São Paulo, Santa Catarina, Maranhão e Goiás, propôs uma emenda ao gênero e à espécie *Tietea singularis*. Ao contrário das descrições anteriores, a espécie teria uma sutil organização de seus meristelos mais distais e traços-foliares polimeristélicos.

Herbst (1987) propôs a espécie *Tuvichapteris solmsi*, encontrada no Paraguai e Uruguai. Esta espécie não apresenta organização de seus meristelos no estelo, e assim como *Tietea*, apresenta traços-foliares polimeristélicos.

Outra espécie de *Tietea* foi proposta por Herbst (1992), *Tietea derbyi*, cuja procedência seria o Estado do Maranhão, próximo a Carolina. O autor destacou a semelhança desta espécie com *Tuvichapteris*.

Nehls (2004) descreveu anatomicamente um fragmento de manto radicular, o qual classificou como sendo de *Psaronius* sp. do Município de Monte Castelo (SC), provavelmente da Formação Teresina. Entre as células parenquimáticas do manto radicular, o autor observou restos de protostelos exárqueos e xilema em forma de C de *Tubicaulis* sp., considerada uma pteridófita epífita. O trabalho de Nehls (2004) é o primeiro a relatar uma associação de Psaroniales com epífitas para a Bacia do Paraná. A priori, a amostra de Nehls (2004) não poderia ser classificada como *Psaronius*, pois o manto radicular, em si, não é diagnóstico para a determinação do gênero.

Concluindo, a literatura mostra que *Tietea singularis* é uma Psaroniales importante da Formação Corumbataí e unidades correlatas na Bacia do Paraná, mas não se pode afirmar que *Psaronius*, de fato, também está representado na bacia. *Tuvichapteris*, registrado apenas no Uruguai e no Paraguai, poderia ser encontrado na Formação Corumbataí. De qualquer forma, os caules de Psaroniales são relativamente raros na Bacia do Paraná e sempre foram encontrados como fragmentos rolados.

8. PALEONTOLOGIA SISTEMÁTICA DOS CAULES DE FILICÍNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Ordem Psaroniales Corsin, 1955

Gênero *Tietea* Solms-Laubach, 1913,emend. Herbst, 1986

Espécie tipo: *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986

Tietea cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986

(Est. 10-16)

Amostras: URC PT- 76, URC PT- 77, URC PT- 78, URC PT- 79, URC PT- 80, IG/USP-GP/3E–289.

Descrição:

Todos os exemplares analisados estão permineralizados. Algumas amostras (URC PT- 76, URC PT- 77 e URC PT- 79) são constituídas apenas por uma porção do estelo. Os demais (URC PT- 78, URC PT- 80 e IG/USP-GP/3E–289) apresentam um manto radicular circundando o estelo. Os exemplares apresentam formas e tamanhos variados, sendo o exemplar URC PT- 78 (Est. 12, fig.A) aquele de maior comprimento, com 11 cm, diâmetro menor de 8 cm e diâmetro maior de 11 cm. O menor exemplar URC PT- 76 tem comprimento de 3,5 cm, diâmetro menor de 3 cm e diâmetro maior de 4 cm (Est. 10, fig. A). Externamente, os fragmentos apresentam colorações diferentes: bege claro (URC PT- 76, URC PT- 77 e URC PT- 79), marrom escuro (URC PT- 78 e URC PT- 80) e cinza escuro (IG/ USP-GP/3E–289). A espessura do manto radicular varia entre 1 cm a 6 cm. O manto de raízes consiste numa camada espessa de radículas imersas em parênquima cortical. As radículas são actinostélicas e estão alinhadas radialmente. Transversalmente, são circulares ou ovais e quando próximas ao estelo adquirem forma alongada e lateralmente comprimida (Est. 14, fig.C) com diâmetro menor de 0,8 mm – 5,0 mm (m = 2,6 mm) e diâmetro maior de 3,0 mm – 7,0 mm (m = 7,0 mm). As células parenquimáticas corticais, em seção transversal, estão preservadas apenas no exemplar IG/USP-GP/3E–289 e apresentam-se sob duas formas: as próximas aos anéis são menores e circulares, com diâmetro de 61,0 µm – 112,0 µm (m = 95,0 µm) e as mais distantes destes são alongadas, retangulares e maiores, com

diâmetro maior de 86,0 µm – 186,0 µm (m = 150,0 µm) e menor de 62 µm – 86 µm (m = 71,0 µm) (Est. 16, fig. A). As radículas são contornadas por anéis esclerenquimáticos de espessura variável (260,0 µm – 535,0 µm; m = 403,0 µm), conforme o grau de preservação das células, e que apresenta, geralmente, duas a oito interrupções. Longitudinalmente, não foi possível identificar o tipo de esclerênquima. No interior dos anéis encontram-se células parenquimáticas intracorticais e xilema primário. As células parenquimáticas, raras, têm forma geralmente circular a levemente alongada, com diâmetro maior de 72,0 µm – 123,0 µm (m = 87,0 µm) e diâmetro menor de 40,0 µm - 92,0 µm (m = 59,0 µm) (Est. 16, fig. A). O xilema primário, mais raramente localizado na periferia do anel esclerenquimático (Est. 12, figs. D, E; Est. 16, fig. A) ou não preservado, constitui-se, transversalmente, por três, cinco ou seis grupos de protoxilema exárqueo. Cada grupo de protoxilema contém três a sete traqueídeos circulares e pequenos, com diâmetro de 42,0 µm – 62,0 µm (m = 62,0 µm). O metaxilema possui traqueídeos circulares com diâmetro de 81,6 µm – 158,0 µm (m =123,0 µm). Longitudinalmente, os traqueídeos têm comprimento entre 0,5 mm a 3 mm e largura entre 95,0 µm – 181,0 µm, sem espessamentos preservados (Est. 16, fig. C). O estelo está limitado do manto radicular por anel esclerenquimático que apresenta espessura variável entre 2,0 mm a 4,0 mm; a má preservação das células impede a contagem dos estratos celulares que o compõe. Observa-se que o anel não é contínuo devido a presença de interrupções em algumas regiões, não sendo possível, porém, avaliar se tais interrupções correspondem à emissão de traços foliares (Est. 12, fig. A; Est. 14, fig. A). Internamente ao anel, o caule consiste de células parenquimáticas homogêneas, nas quais os meristelos estão imersos (Est. 15, fig. B). Aparentemente, não foram observados ductos resiníferos. Os meristelos são constituídos de metaxilema e protoxilema endárqueos. O metaxilema possui células geralmente circulares ou alongadas, com diâmetro menor de 79,0 µm – 161,0 µm (m = 127,0 µm) e diâmetro maior de 135,0 µm – 218,0 µm (m = 194,0 µm) (Est. 10, figs. B, C; Est.11, fig. C; Est. 12, fig, B; Est. 13, figs. B, C; Est. 15, fig. B). O protoxilema, geralmente, não está preservado encontrando-se apenas no exemplar URC PT- 77. Neste, em vista transversal, os traqueídeos são circulares, com diâmetro entre 57 µm - 90 µm, comumente formados por pequenos agrupamentos (Est. 11, fig. C). Longitudinalmente não foi possível estimar o comprimento dos traqueídeos do proto e metaxilema, sendo os espessamentos apresentados pelos mesmos, possivelmente, do tipo helicoidal. Em nenhum exemplar floema e periciclo encontram-se preservados. Contornando estes tecidos de condução, observa-se uma

camada geralmente espessa (0,4 mm a 0,6 mm) de tecido esclerenquimático formada por 5 a 8 estratos celulares, cujas células têm diâmetro de 78,0 µm – 249,0 µm (m = 161,0 µm) (Est. 11, fig. C; Est. 13, fig. C). Verifica-se a passagem de radículas da periferia do estelo em direção ao manto radicular (Est. 12, fig. C; Est. 14, fig. B; Est. 15, fig. C) . As dimensões das características anatômicas das amostras descritas estão sumarizadas na Tabela 7.

Discussão:

Os exemplares analisados exibem grande semelhança com *Tietea singularis*, por apresentarem, geralmente, meristelos de formas circulares, ovais ou em forma de C e aparente ausência de organização dos meristelos na porção central do estelo. Quanto ao manto de raízes, os exemplares apresentam características semelhantes estrutural e anatomicamente à espécie citada, sendo os actinostelos das radículas geralmente formados por 3-4 grupos de protoxilema, mais comumente de 5-6 grupos. Possivelmente, os fragmentos correspondem à parte basal do caule por apresentarem meristelos reduzidos e sem organização aparente. Anatomicamente, os traqueídeos do metaxilema dos meristelos exibem espessamentos helicoidais e não escalariformes. Diferentemente de *Psaronius*, o gênero *Tietea* ainda não foi descrito adequadamente quanto à sua ontogenia, dificultando a verificação de alterações anatômicas, correspondentes a diferentes estágios ontogenéticos ao longo do caule. Contudo, os exemplares estudados diferem de *Tietea singularis* por não preservarem traços foliares polimeristélicos e pela sutil desorganização dos meristelos na porção distal. Em vista do número relativamente limitado de amostras analisadas e do estado fragmentário dos caules, os exemplares são classificados, preliminarmente, como *Tietea* cf. *T. singularis*. Outra comparação pode ser realizada com *Tuvichapteris solmsi* Herbst, 1987, procedente do Paraguai e Uruguai, quanto à ausência de organização dos meristelos. Tanto *Tietea singularis* quanto *Tuvichapteris solmsi* apresentam algumas características compartilhadas, como traços foliares polimeristélicos e ausência de organização dos meristelos no caule. A diferença entre as duas espécies consiste, basicamente, no número de ortósticas, ou seja, o número de frondes que emergem do caule, que são 4 em *Tietea singularis* e 6 em *Tuvichapteris solmsi*. Porém, segundo Morgan (1959),

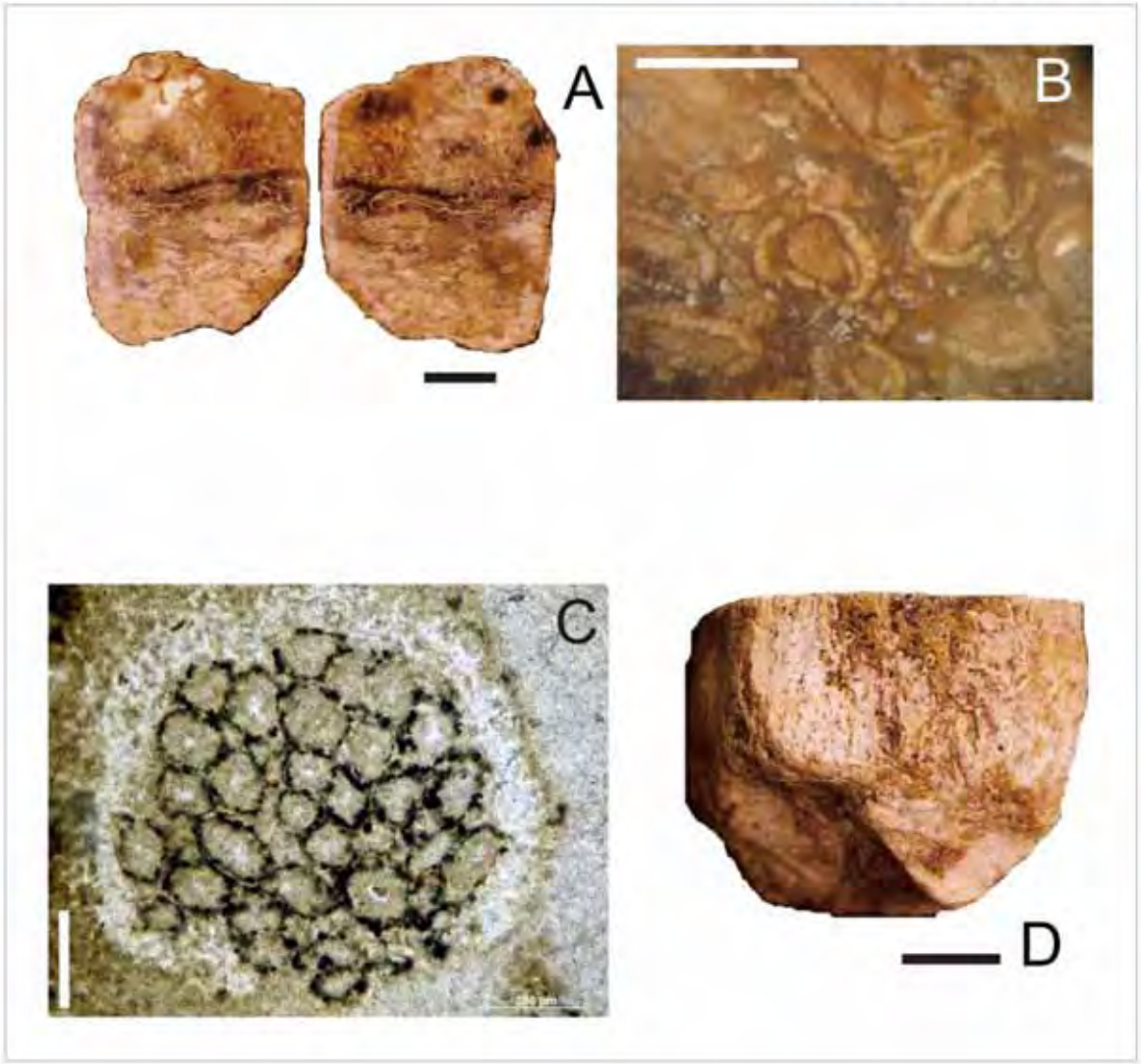
Rothwell & Blickle (1982a) e Mickle (1984), tal característica não é um caráter de distinção entre espécies, uma vez que o número de ortósticas pode variar ao longo do desenvolvimento do caule de uma única espécie.

Tabela 7- As siglas referam-se a: **Manto rd=** manto radicular, **Cc=** comprimento do caule, **Dc=** diâmetro do caule, **Nº ortc.=** número de ortósticas, **Dm=** diâmetro do meristelo, **Trç. foliar=** traço foliar, **Dr=** diâmetro da radícula, **Gprx=** grupos de protoxilema.

	URC PT					IG/USP
Amostras	**76**	**77**	**78**	**79**	**80**	**GP-3E-289**
Manto rd.	Ausente	Ausente	1-6 cm	Ausente	1,5-6 cm	1 cm
Estelo (cm)	4x3 l*	4x3,3 l*	5,5x3 l*	9,3x4,5 l*	2,5x2,8 l*	5x3,5 l*
Cc (cm)	3.5	4	11	5	8	3
Dc (cm)	4x3	5x4	11x8	9x4	8,5x8	5x4,5
Nºortc.	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Dm (mm)	3x2	5x3;12x4	5x3,5;6x4	6x3;12x4	4x1;5x3	3x2
Trç. Foliar	Ausente	Ausente	?	Ausente	?	Ausente
Dr (mm)	Ausente	Ausente	5x1;7x3	Ausente	3x1;5x2	4x2;5,5x3
Gprx	Ausente	Ausente	3-5	Ausente	Ausente	5-6

l*- incompleto

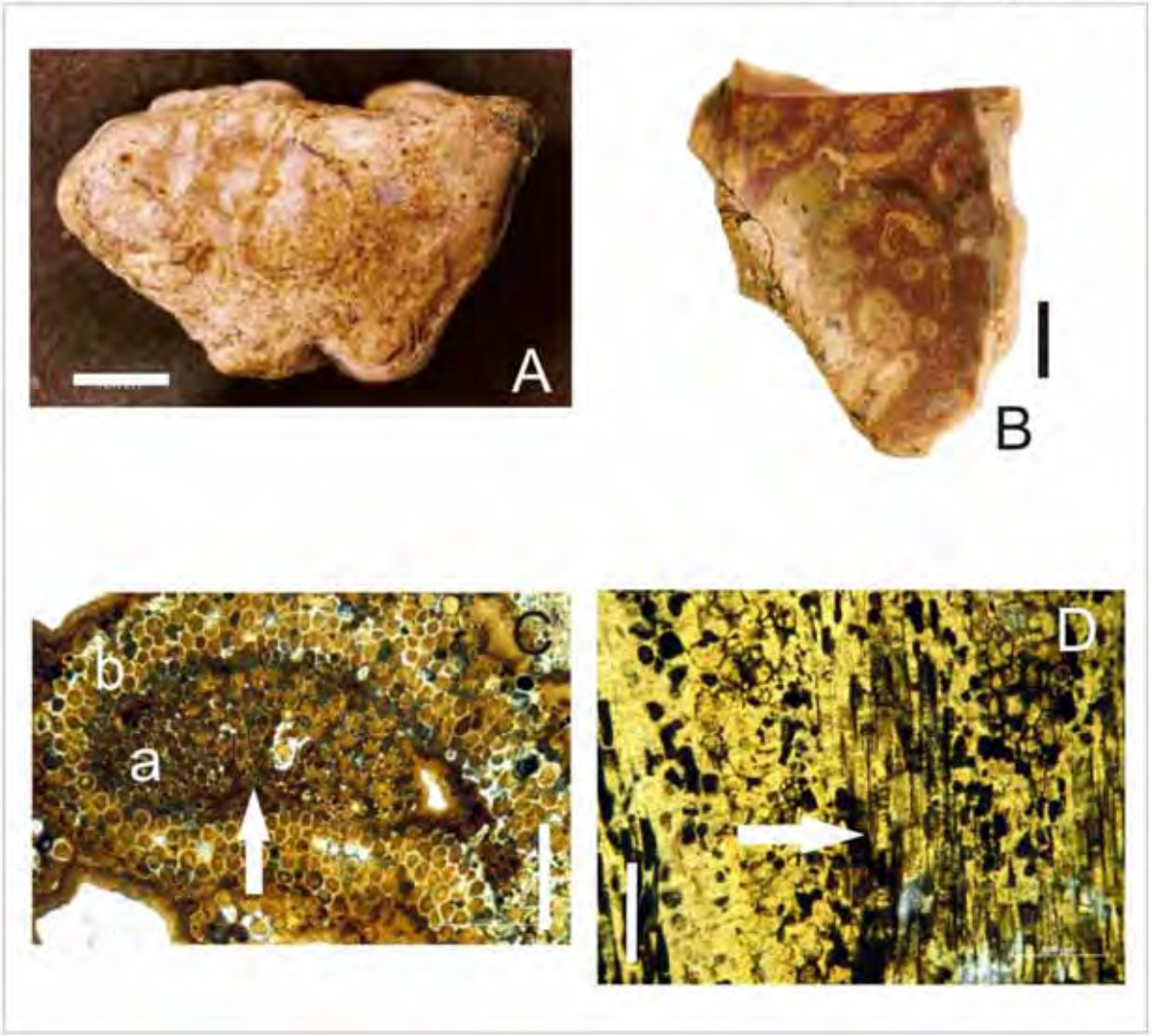
Estampa 10



***Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**

A- Exemplar URC PT- 76. Vista longitudinal de uma porção do estelo. Escala = 10 mm.
B- Detalllhe de URC PT- 76, mostrando alguns meristelos, centralmente o metaxilema. Escala = 2 mm.
C- Detalhe de B, o metaxilema pouco preservado, observado em lâmina petrográfica. Escala =200 µm.
D- Exemplar URC PT- 76. Vista lateral. Escala = 10 mm.

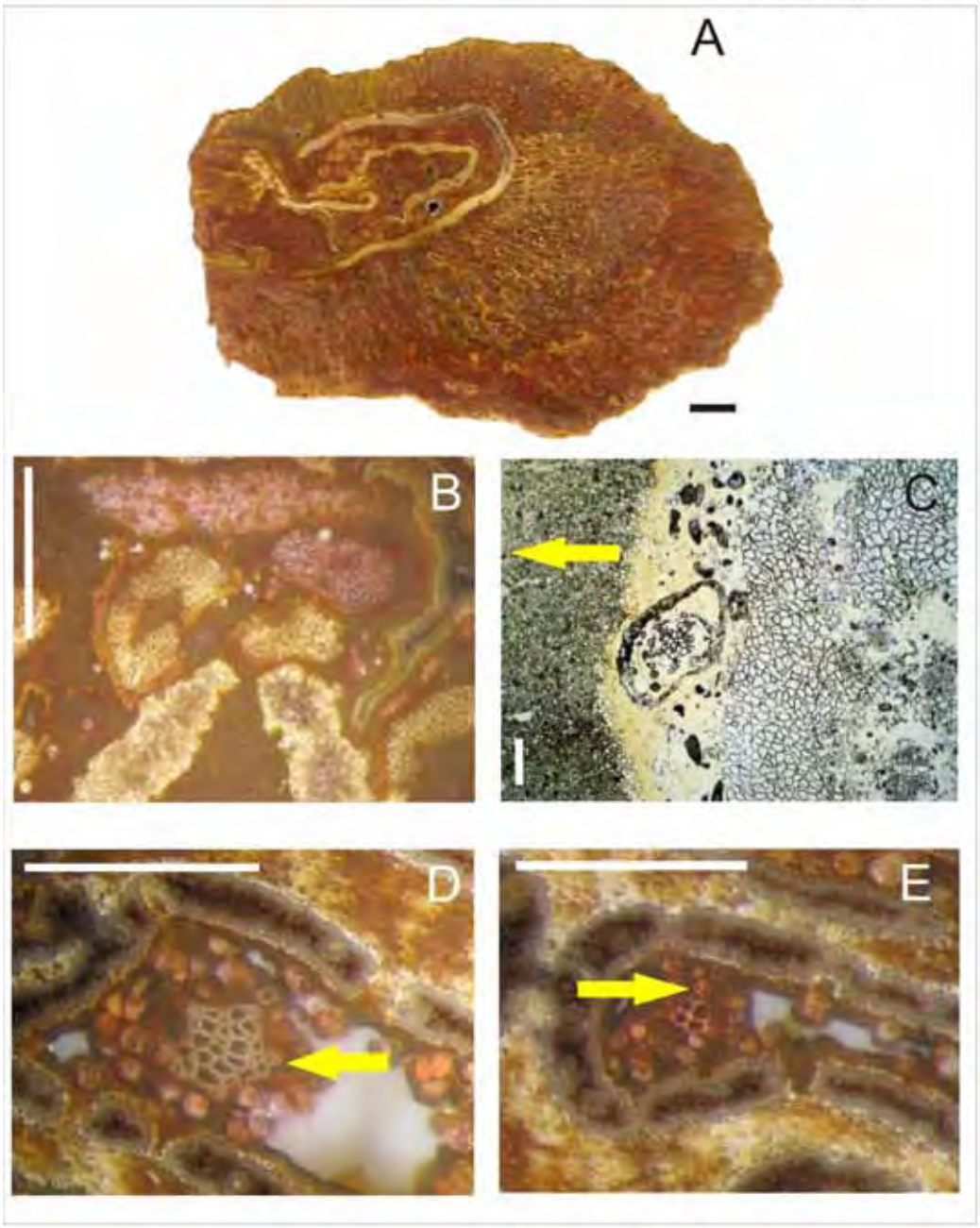
Estampa 11



***Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**

A- Exemplar URC PT- 77. Vista transversal do fragmento. Escala = 10 mm.
B- Vista de corte transversal de A, mostrando a proção do estelo com meristelos. Escala = 10 mm.
C- Detalhe dos tecidos que compõem os meristelos, protoxilema (seta), metaxilema (a), esclerênquima (b) do exemplar URC PT- 77. Escala = 1000 µm.
D- Seção longitudinal mostrando os traqueídeos com possíveis espessamentos helicoidal (seta) de um meristelo, vistos em lâmina petrográfica. Escala = 500 µm.

Estampa 12



***Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**

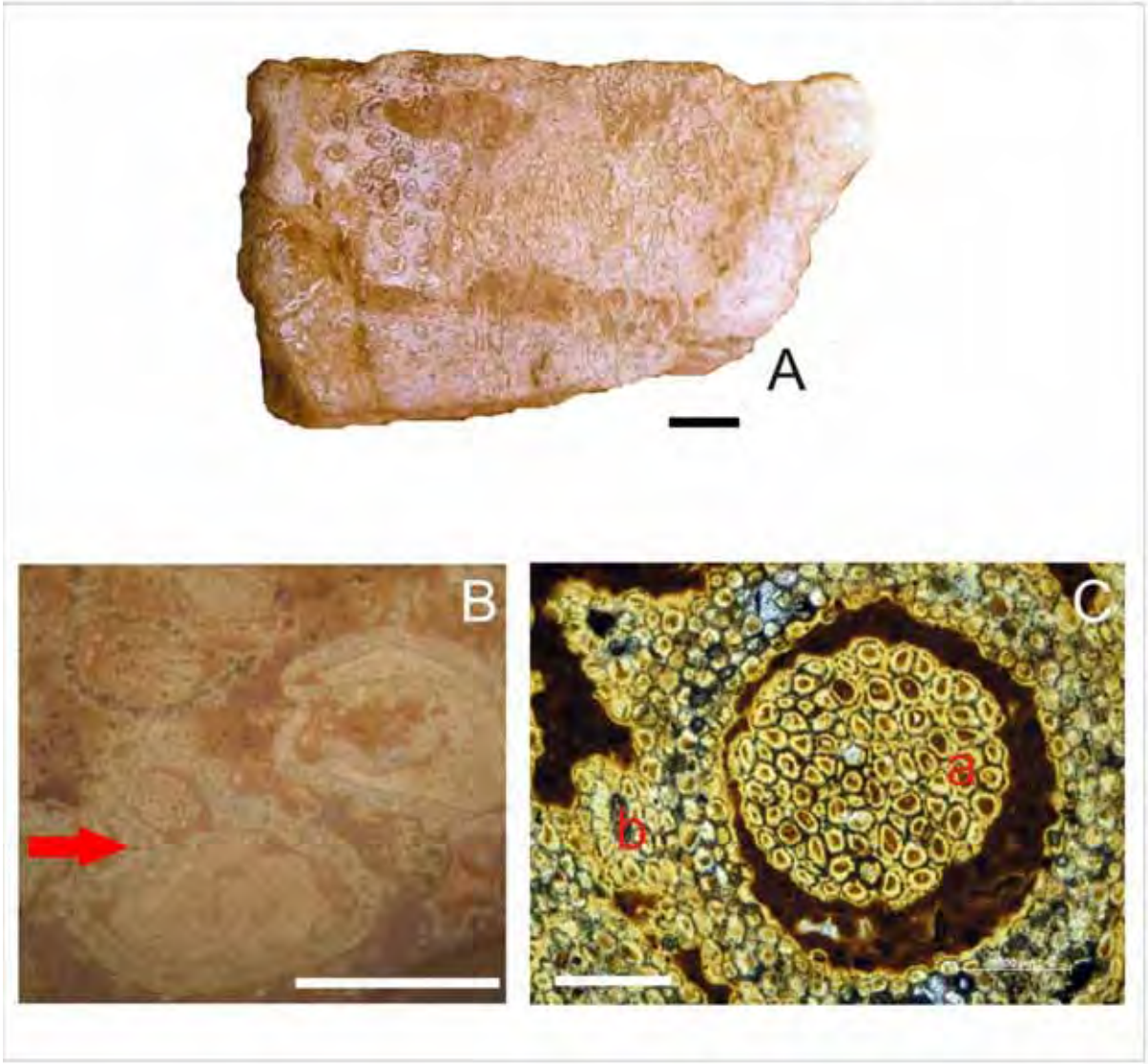
A- Exemplar URC PT- 78. Vista de corte transversal, com estelo e manto radicular. Eacala = 10 mm.

B- Detalhe da forma dos meristelos com o metaxilema evidente, do exemplar URC PT- 78. Eacala = 3 mm.

C- Saída de uma radícula do estelo em direção ao manto radicular (seta), vista em lâmina petrográfica. Eacala = 1000 µm.

D, E- Detalhe do actinostelo das radículas com cinco (D) e três (E) grupos de protoxilema (seta) do exemplar URC PT- 78. Eacala = 3 mm.

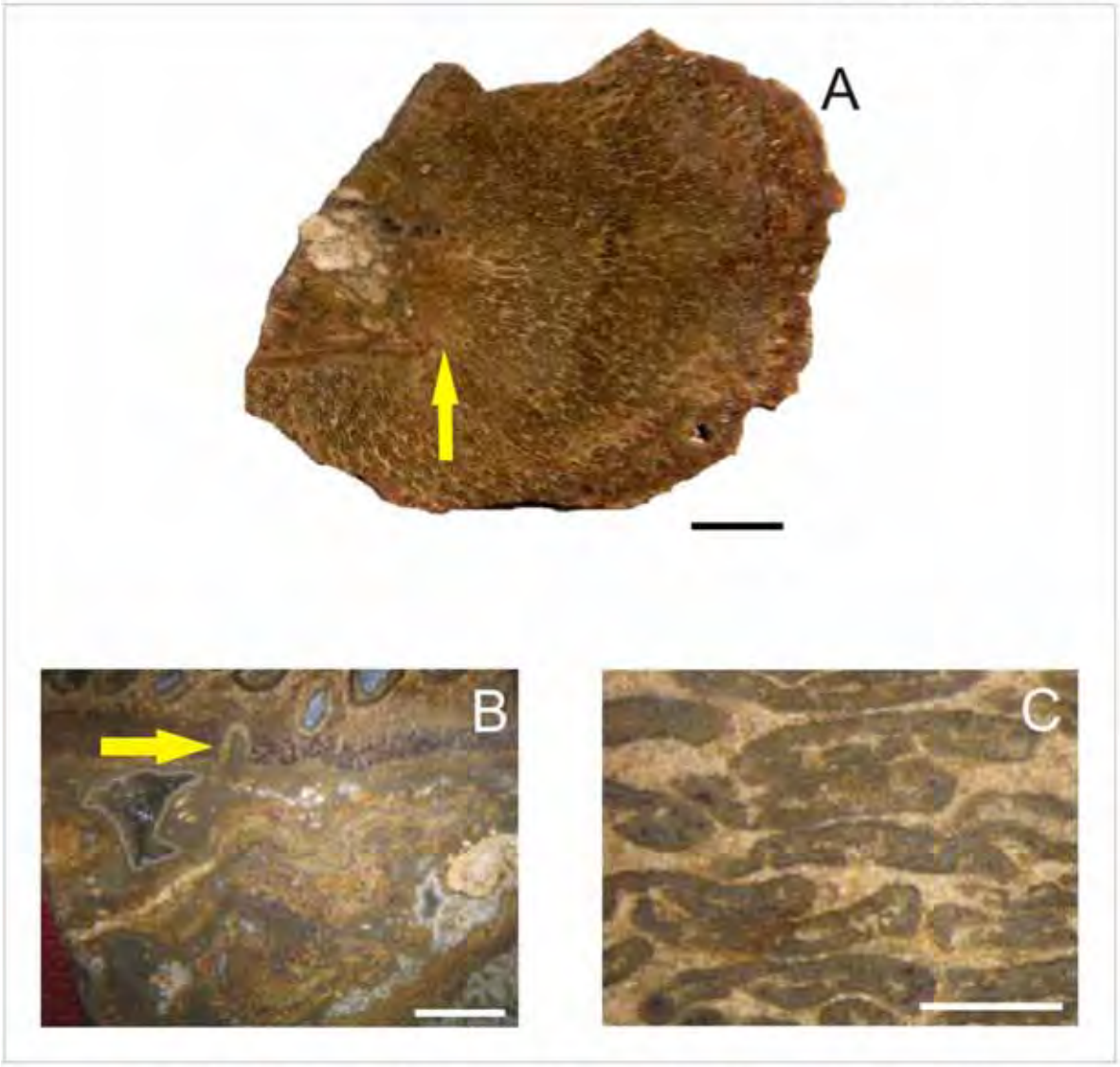
Estampa 13



***Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**

A- Exemplar URC PT-79. Vista lateral do estelo. Escala = 10 mm.
B- Seção transversal detalhando o formato e divisão (seta) dos meristelos, no exemplar URC PT-79. Escala = 5 mm.
C- Detalhe de um meristelo em seção transversal, com metaxilema (a) e esclerênquima (b) preservados, visto em lâmina petrográfica. Escala = 1000 µm.

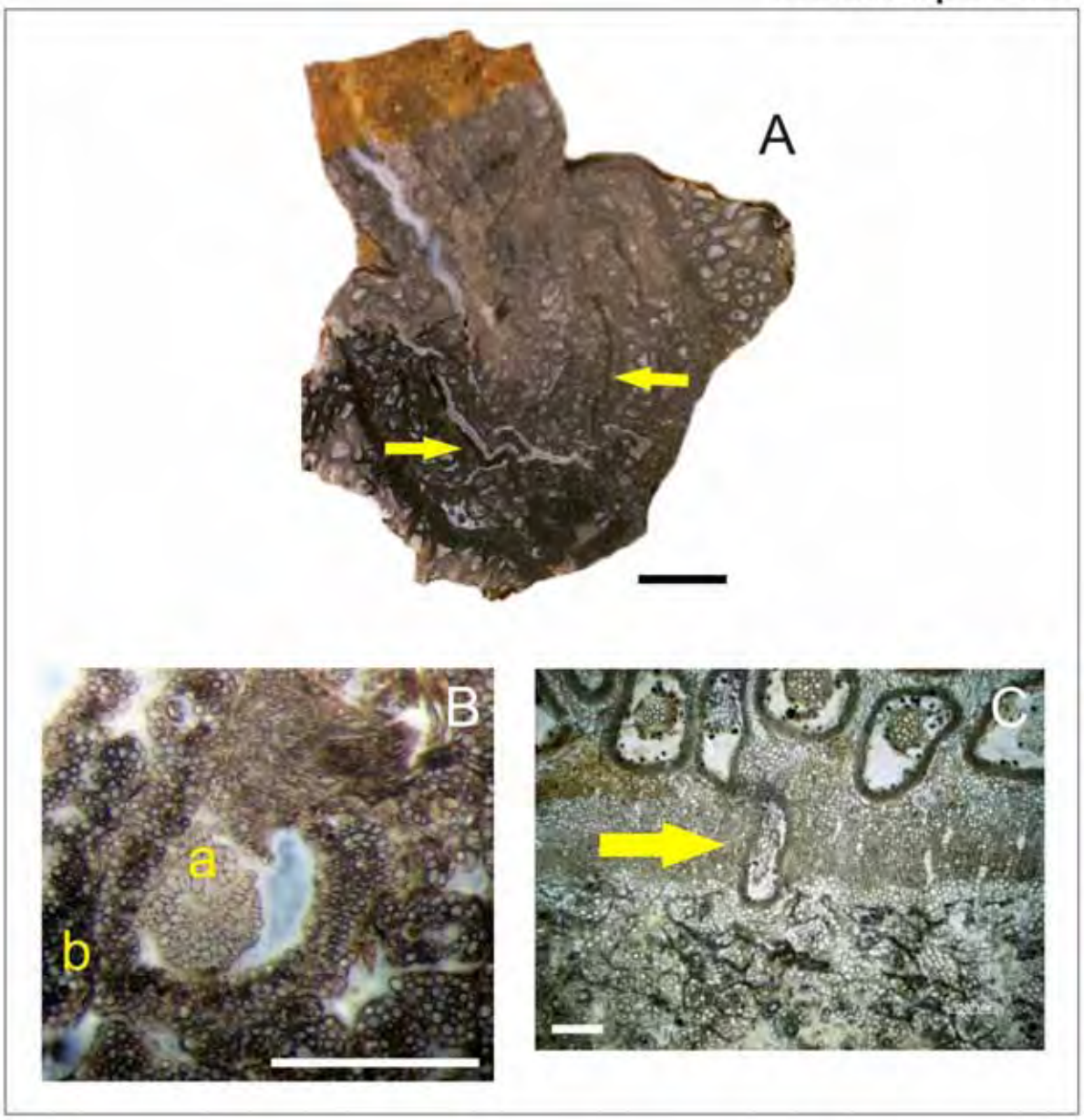
Estampa 14



***Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**

A- Exemplar URC PT-80. Vista de corte transversal do caule; notar a região do anel esclerenquimático provavelmente interrompido e radículas comprimidas lateralmente que estão sendo emitidas para o manto radicular (seta). Escala = 10 mm.
B- Detalhe da radícula atravessando o anel esclerenquimático (seta) do estelo em direção ao manto radicular, no exemplar URC PT-80. Escala = 3 mm.
C- Detalhe das radículas do exemplar URC PT-80, localizadas próximas ao estelo; elas são mais alongadas e comprimidas lateralmente e não apresentam seus tecidos preservados. Escala = 2 mm.

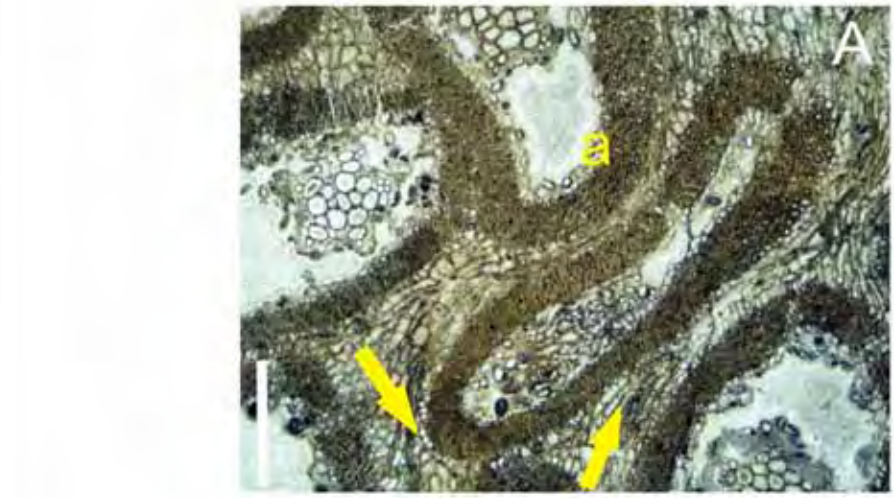
Estampa 15

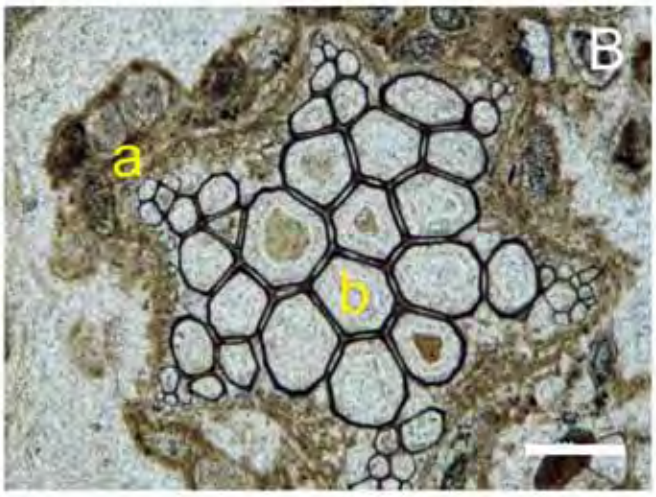


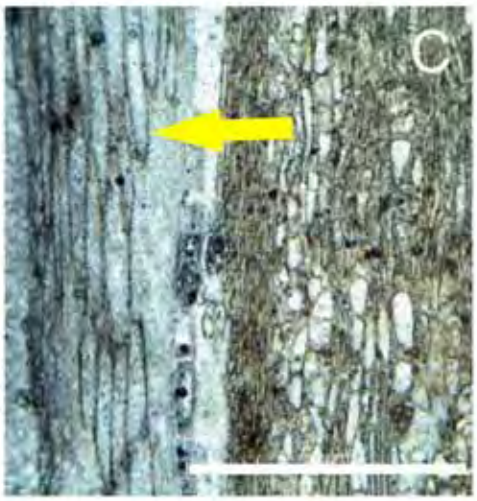
***Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**

A- Exemplar IG/USP-GP/3E-289. Vista de corte transversal do estelo e manto radicular. Presença de bandas esclerenquimáticas no interior do estelo (setas). Escala = 10 mm.
B- Detalhe de um meristelo com metaxilema (a) e esclerênquima e parenquima (b) preservados, no exemplar IG/USP-GP/3E-289. Escala = 2 mm.
C- Seção transversal evidenciando a passagem de uma radícula do estelo para o manto radicular (seta), no exemplar IG/USP-GP/3E-289, observada em lâmina petrográfica. Escala = 1000 µm.

Estampa 16







***Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986**

A- Detalhe do manto radicular do exemplar IG/USP-GP/3E-289. As células do parênquima cortical apresentam forma retangular e circular (setas) próximo ao anel esclerenquimático. Existem poucas células parenquimáticas (a) no interior do anel esclerenquimático. Seção transversal. Escala = 1000 µm.

B- Seção transversal do protoxilema (a) e metaxilema (b) do actinostelo de uma radícula, para o mesmo exemplar. Escala = 200 µm.

C- Seção longitudinal do manto radicular, com traqueideos mal preservados (seta) e células parenquimáticas, em lâmina petrográfica. Escala = 1000 µm.

Ordem Psaroniales Corsin, 1955

Gênero *Psaronius* Cotta, 1832

Espécie - tipo: *Psaronius helmintholithus* Cotta, 1832

Psaronius cf. *Psaronius arrojadoi* Pelourde, 1914 emend. Herbst, 1985

(Est. 17)

Amostra: IG/SMA-4

Descrição:

O exemplar é um fragmento de caule permineralizado, constituído apenas pelo estelo, sem cicatrizes foliares e com forma aproximadamente circular, apresentando 5,0 cm de diâmetro e 3,0 cm de comprimento (Est. 17). Externamente, exibe um conjunto de colorações, sendo a área correspondente ao tecido parenquimático e meristelos marrom e a região periférica, que provavelmente corresponderia à emissão de pecíolos, amarelada. O exemplar não possui tecidos parenquimáticos, esclerenquimáticos ou xilemáticos preservados. Devido a não preservação do anel esclerenquimático não há uma nítida individualização do estelo. Transversalmente, os meristelos são tabulares e ligeiramente ovais; estes últimos, dispersos e localizados mais centralmente, são relativamente menores (Est. 7, figs. A, D); os tabulares, mais distais, são ligeiramente recurvados (Est. 7, figs. A, C). O diâmetro maior dos meristelos pode variar entre 0,5 mm até 2,5 mm, e o diâmetro menor entre 1,0 mm a 3,0 mm. Nota-se uma aparente ciclicidadade na disposição dos meristelos distais, mas a má preservação impede uma contagem satisfatória. Os meristelos centrais estão mais dispersos. A região periférica do exemplar, de coloração amarelada, tem estruturas de difícil interpretação, que poderiam, possivelmente, corresponder à emissão de traços foliares, porém, os detalhes não foram suficientemente preservados. As dimensões das características anatômicas da amostra descrita encontram-se na Tabela 8.

Discussão:

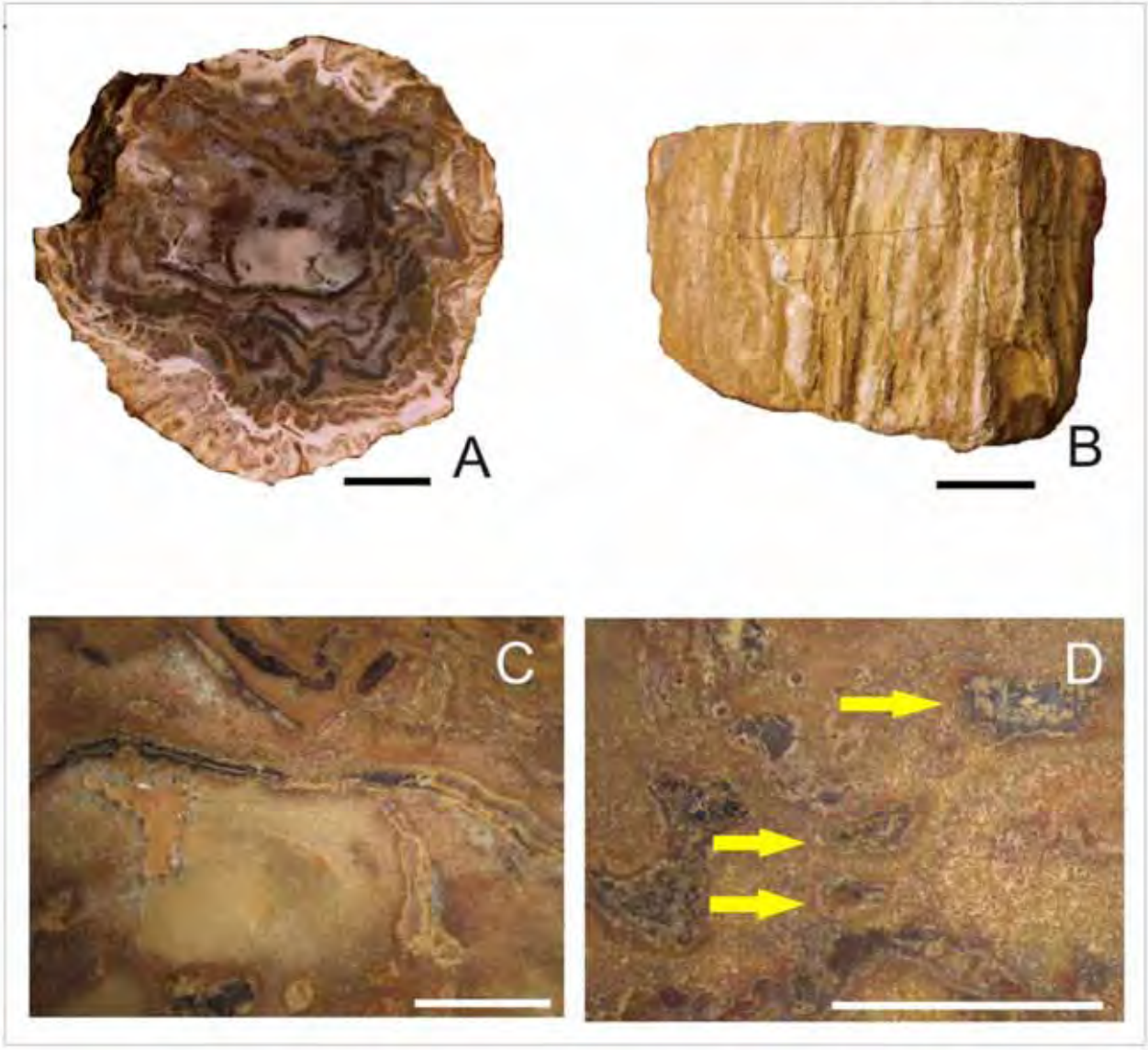
O exemplar aqui analisado assemelha-se a *Psaronius arrojadoi* Pelourde, 1914 emend. Herbst, 1985, por apresentar meristelos centrais desorganizados e menores e meristelos distais tabulares com aparente ciclicidade. Outra espécie semelhante é *Psaronius brasiliensis* Brongniart, 1872, porém, a amostra exibe um número menor de meristelos na região central do estelo e um número aparentemente maior de meristelos tabulares sem as extremidades levemente encurvadas. Cabe ressaltar que Herbst (1986), ao realizar a emenda da diagnose de *Psaronius arrojadoi*, observou extrema semelhança com *Psaronius brasiliensis*, e, através de esquemas, procurou explicar o desenvolvimento dos meristelos e sua organização no estelo. O precário estado de preservação do exemplar analisado impossibilita comparações detalhadas com outras espécie

Tabela 8- As siglas referam-se a: **Manto rd=** manto radicular, **Cc=** comprimento do caule, **Dc=** diâmetro do caule, **Nº ortc.=** número de ortósticas, **Dm=** diâmetro do meristelo, **Trç. foliar=** traço foliar, **Dr=** diâmetro da radícula, **Gprx=** grupos de protoxilema.

	IG/SMA
Amostra	4
Manto rd.	Ausente
Estelo (cm)	3
Cc (cm)	5
Dc (cm)	I*
Nºortc.	Não presr.
Dm (mm)	2,5x2; 3x2
Trç. Foliar	Não presr.
Dr (mm)	Ausente
Gprx	Ausente

I*- indeterminado

Estampa 17



***Psaronius* cf. *Psaronius arrojadoi* Pelourde, 1914 emend. Herbst, 1985**

A- Exemplar IG/SMA-4. Vista de corte transversal do estelo. Escala = 10 mm.
B- Vista lateral do estelo do exemplar IG/SMA-4. Escala = 10 mm.
C- Vista de corte transversal do estelo, com meristelos tabulares, do exemplar IG/SMA-4. Escala = 3 mm.
D- Vista de corte transversal do estelo, com meristelos de vários formatos (setas), próximos ao centro, sem tecidos preservados. Escala = 3 mm.

Ordem Psaroniales Corsin, 1955

Gen. et sp. indet.

(Est. 18-22)

Amostras: IGSMA-46v, IG/SMA-6, IG/SMA-278v, IG/SMA-93v, IG/USP-VI-49-6, IG/USP-GP/3E-298, IG/USP-GP/3E-299, IG/USP-GP/3E-290, IG/USP-GP/3E- 7474, URC PT- 81, URC PT- 82, URC PT- 83.

Descrição:

Todos os fragmentos estão permineralizados. As amostras são representadas por mantos radiculares, sendo as correspondentes a IG/SMA-278v, URC PT- 81 (Est. 19, fig.A; Est. 20, fig. A) portadoras, também, de um estelo comprimido, e a correspondente a URC PT- 83 somente de um estelo mal preservado. Devido à preservação inadequada do estelo, não foram utilizadas na análise anatômica, restringindo-se à descrição apenas ao manto radicular. O diâmetro dos fragmentos varia de 1,0 cm a 16,0 cm e o comprimento de 1,0 cm a 9,5 cm. A espessura do manto radicular oscila entre 1,0 cm a 8,7 cm. Os exemplares apresentam formas diversas e a coloração geralmente é bege, marrom e marrom escuro, salientando-se o cinza escuro em algumas amostras (IG/USP-GP/3E-290, USP-GP/3E-7474). As radículas apresentam coloração mais escura, que, geralmente, se destacam no fragmento (Est. 18, fig. A; Est. 19, figs. B, C, D; Est. 20, fig. A; Est. 22, fig.C). O manto de raízes consiste numa camada de radículas imersas em parênquima cortical (Est. 18, figs. B, C). As células parenquimáticas corticais, nas quais as radículas ficam imersas, em corte transversal, possuem duas formas: as próximas aos anéis são menores e circulares, com diâmetro de 29,0 µm – 68,0 µm (m = 54,0 µm), preservadas apenas no exemplar IG/USP-GP/3E-290 (Est. 18, fig. C); as mais distantes destes são constituídas por células alongadas, retangulares e maiores, com diâmetro médio maior de 205,0 µm e menor de 58,0 µm (Est. 18, fig. C). As radículas são actinostélicas e nem sempre estão alinhadas radialmente. Em uma das amostras (URC PT- 81) observa-se a passagem de radículas do estelo para o manto radicular (Est. 20, fig. B). Exibem formas circulares (Est. 19, fig. B; Est. 20, fig. B; Est. 22, figs. C, D), elípticas com as extremidades arredondadas, ou formas alongadas e lateralmente comprimidas (Est. 18, fig. B; Est. 19, fig. B; Est. 21, figs. A, B, C, E, Est. 22, figs.

A, B). As radículas são contornadas por anéis esclerenquimáticos que, em corte transversal, têm diâmetro maior médio de 14,0 mm e diâmetro menor médio de 6,0 mm e exibem interrupções (Est. 18, fig. B; Est. 21, fig. E). A espessura dos anéis é variável e depende do grau de preservação das células, compreendendo, em média, 1,0 mm. O esclerenquima possui forma circular a poligonal em seção transversal, com diâmetro médio de 41,0 µm (Est. 18, fig. C). Longitudinalmente, não puderam ser medidos. No interior dos anéis existem poucas células parenquimáticas intracorticais preservadas, com forma geralmente circular e diâmetro entre 28 µm a 68 µm, e xilema primário que se localiza centralmente; em alguns casos, este situa-se na extremidade do anel, talvez devido a compressão lateral do mesmo (Est. 18, fig. B), em outros exemplares não se preservou. Em corte transversal, o xilema primário é actinostélico com cinco grupos de protoxilema exárqueo; o crescimento destas células ocorre em direção ao centro, deixando as células do metaxilema muito próximas umas das outras (Est.18, fig. D). O protoxilema em corte trasnsversal é constituído por cinco a sete traqueídeos circulares e pequenos, com diâmetro médio de 55 µm (39 µm - 90µ) (Est.18, fig. D). O metaxilema em corte transversal possui geralmente 24 traqueídeos circulares com diâmetro médio de 123 µm (81,6 µm – 158 µm) (Est.18, fig. D). Longitudinalmente, os traqueídeos têm comprimento médio de 4 mm e largura de 22 µm – 39 µm (Est. 18, fig. E; Est. 20, fig. F). Apresentam espessamentos helicoidais e escalariformes pouco preservados. As dimensões das características anatômicas dos exemplares descritos encontram-se na Tabela 9.

Discussão:

Foi vedada a confecção de cortes e lâminas nas amostras do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente (IG/SMA). Nestas, apenas as radículas puderam ser mensuradas, não sendo possível a análise de qualquer outra estrutura anatômica.

Nota-se que existe um número considerável de exemplares representados apenas por manto radicular, mas por se apresentarem anatomicamente mal preservados, não permitem uma comparação efetiva com outros espécimens. Em alguns exemplares é possível observar externamente que as radículas são alongadas e mais comprimidas lateralmente. É provável que estes exemplares constituíram as porções do manto radicular próximo ao estelo e que o caráter comprimido esteja relacionado com a pressão mútua, em função da região circundante do estelo

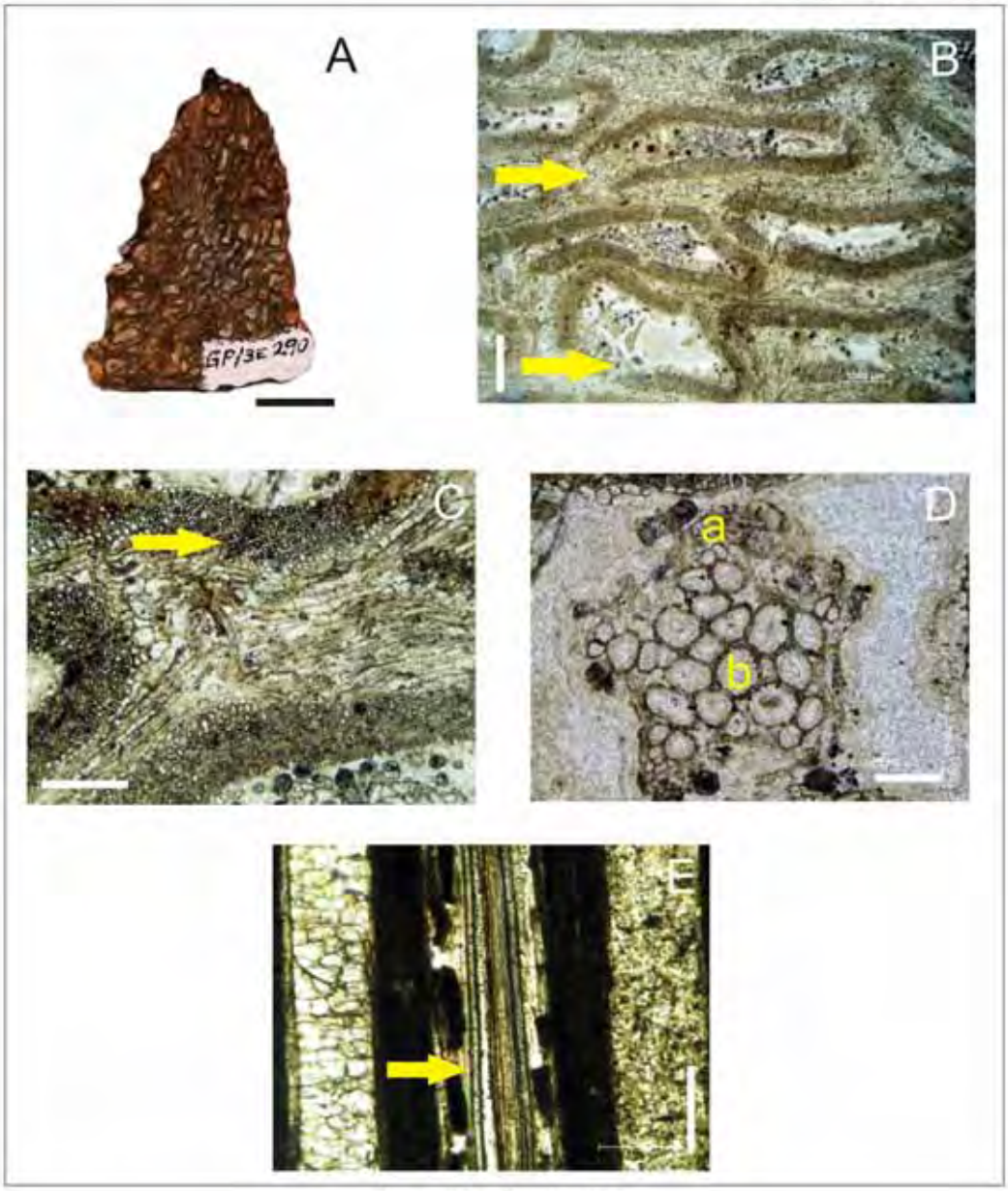
ser uma zona de emissão de raízes adventíceas. O exemplar IG/USP-GP/3E-290 é o único que apresenta o actinostelo com cinco grupos de protoxilema e células do parênquima cortical e intracortical preservados. Estas constituições anatômicas parecem ser comuns em *Psaronius*. Ao comparar este exemplar com as espécies *P. chasei* Morgan, 1959 emend. Mickle, 1984, *P. paucivasculosos* Bickle, 1984 e *P. schopfii*, Bickle, 1984 nota-se que o número de grupos de protoxilema é menor e que não ocorrem células de tanino no parênquima cortical, ou pelo menos, estas não se preservaram. As descrições para *Tuvichapteris solmsi* Herbst, 1987 são similares, apenas o número de grupos de protoxilema é menos variável, talvez por ser apenas um pequeno fragmento de manto radicular. Quando comparado ao fragmento de manto radicular de *Psaronius* sp. descrito por Nehls (2004), há nítida diferença quanto à organização do xilema primário do actinostelo da radícula, para os exemplares aqui analisados; estes exibem metaxilema unidos. Para as espécies analisadas na Bacia do Paraná e Parnaíba, não existe um consenso quanto ao número de grupos de protoxilema, nem de traqueídeos que compõem cada um destes grupos. Nota-se que o manto radicular das amostras não apresenta caracteres suficientes para classificá-los em gêneros e/ou espécies.

Tabela 9- As siglas referem-se a: **Manto rd**.= manto radicular, **Cc**= comprimento do caule, **Dc**=diâmetro do caule, **Dr**= diâmetro da radícula,**Gprx**=grupos de protoxilema.

	IG/SMA				IG/USP					URC PT-		
Amostras	**46v**	**6**	**278v**	**93v**	**VI-49-6**	**GP-3E-298**	**GP-3E-299**	**GP-3E-290**	**GP3E-7474**	**81**	**82**	**83**
manto rd.	8,7x3,5 I*	6,9x5,6 I*	8,75x5 I*	6,2x4,3 I*	6,5x3,2 I*	4,3x2,2 I*	2,5x2 I*	4,3x3 I*	4x2,5 I*	4,3x1,4 I*	6,3x4,0 I*	Ausente
Estelo (cm)	Ausente	Ausente	10x2,75 I*	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	3,6x1,0 I*	Ausente	2,4x1,8 I*
Cc (cm)	9.5	3	4	2	6	4,5	4	2	1	1.5	3	3
Dc (cm)	I**	I**	16x9,5	I**	I**	I**	I**	I**	I**	5x4	I**	I**
Dr (mm)	4x2	3x2	4x2	4x2	3,5x1,35	4,15x1,15	4,6x0,95	4,7x1	5x3	3x2	6x2	Ausente
Gprx	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	5	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Ausente

I*- incompleto, **I****- indeterminado

Estampa 18



Psaroniales Corsin, 1955
Gen. et sp. indet.

A- Exemplar IG/USP-GP/3E-290. Vista de corte transversal mostrando o manto radicular. Escala = 10 mm.

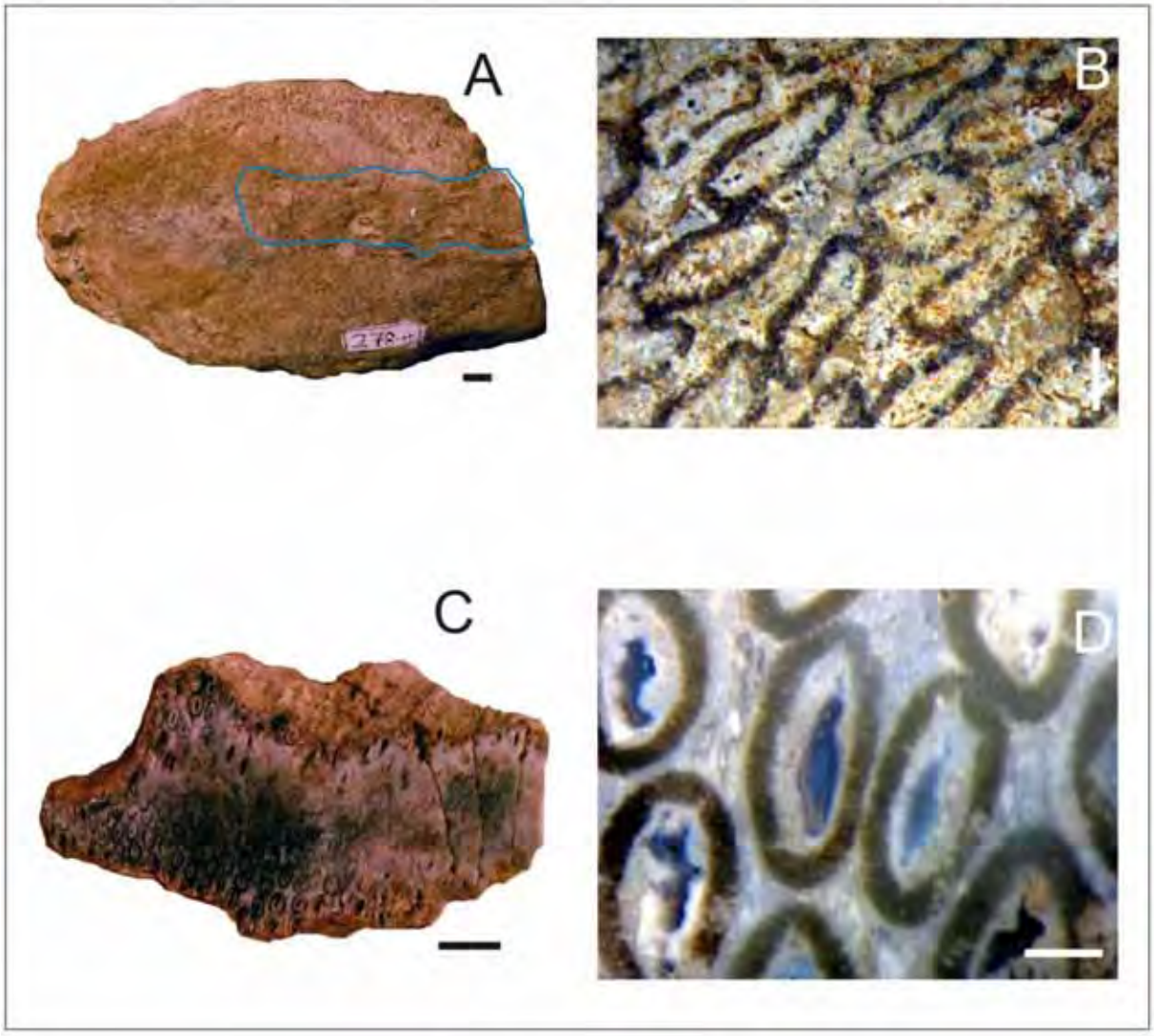
B- Exemplar IG/USP-GP/3E-290. Lâmina petrográfica de corte transversal do manto radicular; observar o parênquima cortical com células circulares próximas à radícula, e retangulares mais ao centro do parênquima. Radículas com o anel esclerenquimático interrompido (setas). Escala = 1000 µm.

C- Detalhe do parênquiama cortical de B e células esclerenquimáticas formando o anel (seta). Escala = 500 µm.

D-Exemplar IG/USP-GP/3E-290. Actinostelo com cinco grupos de protoxilema (a) e metaxilema (b) mal preservados . Escala = 200 µm.

E-Exemplar IG/USP-GP/3E-290. Lâmina petrográfica longitudinal. Traqueídeos com espessamentos helicoidal (seta). Escala = 500 µm.

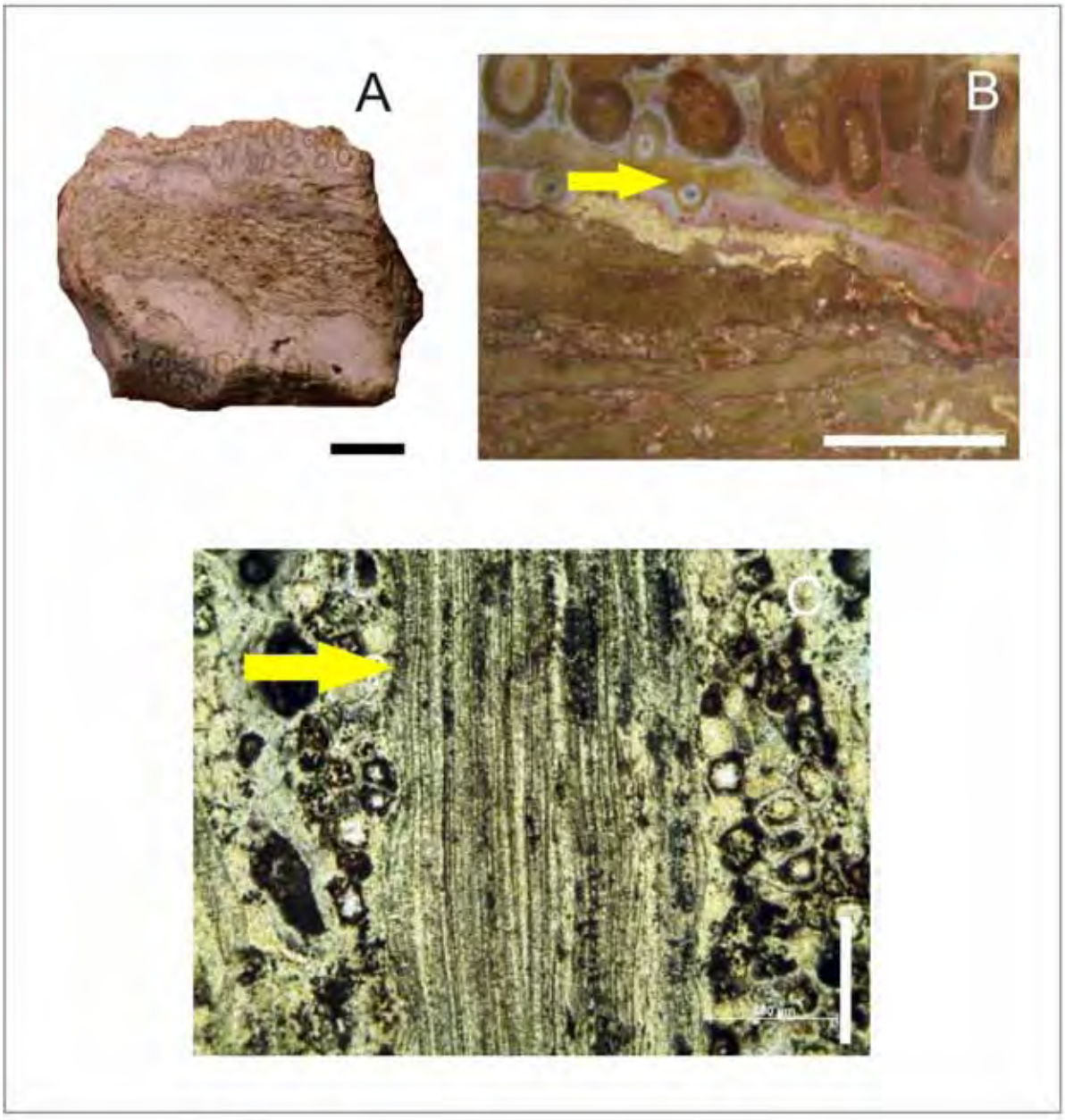
Estampa 19



Psaroniales Corsin, 1955
Gen. et sp. indet.

A-Exemplar IG/SMA-278v. Vista transversal. Manto radicular e estelo mal preservado na porção demarcada. Escala = 10 mm.
B- Detalhe das radículas do manto radicular da letra A, sem tecido parenquimático cortical, intracortical e actinostelo preservados. Vista de corte transversal. Escala = 10 mm.
C- Exemplar IG/SMA-46v. Porção do manto radicular. Vista de corte transversal. Escala = 10 mm.
D- Detalhe das radículas da letra C, sem tecidos preservados. Vista de corte transversal. Escala = 10 mm.

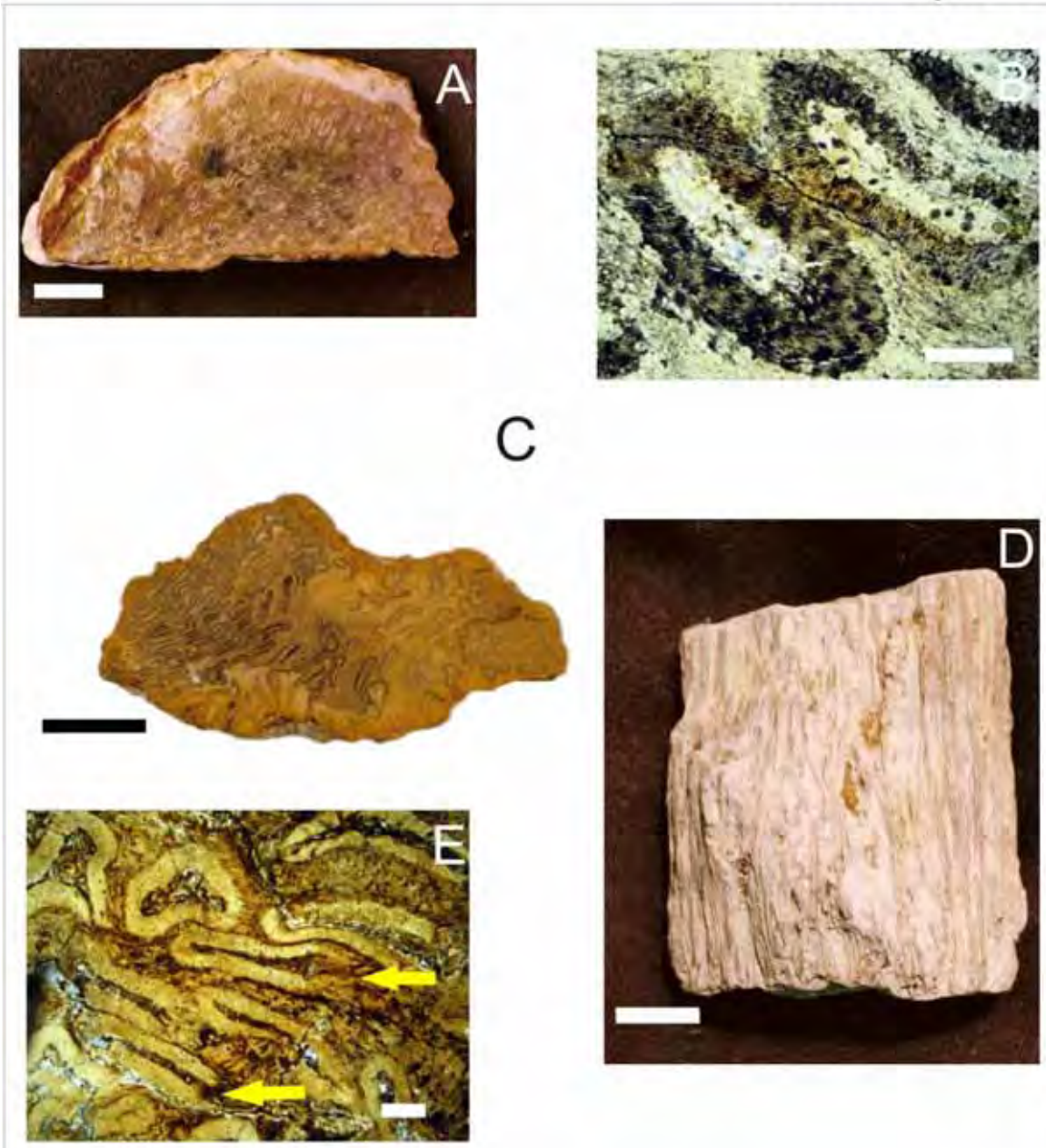
Estampa 20



Psaroniales Corsin, 1955
Gen. et sp. indet.

A- Exemplar URC PT-81. Vista de corte transversal do exemplar. Escala = 10 mm.
B-Passagem de algumas radículas para o manto radicular (seta). Escala = 5 mm.
C- Seção longitudinal destacando os traqueídeos com espessamentos helicoidal do actinostelo. Escala = 500 µm.

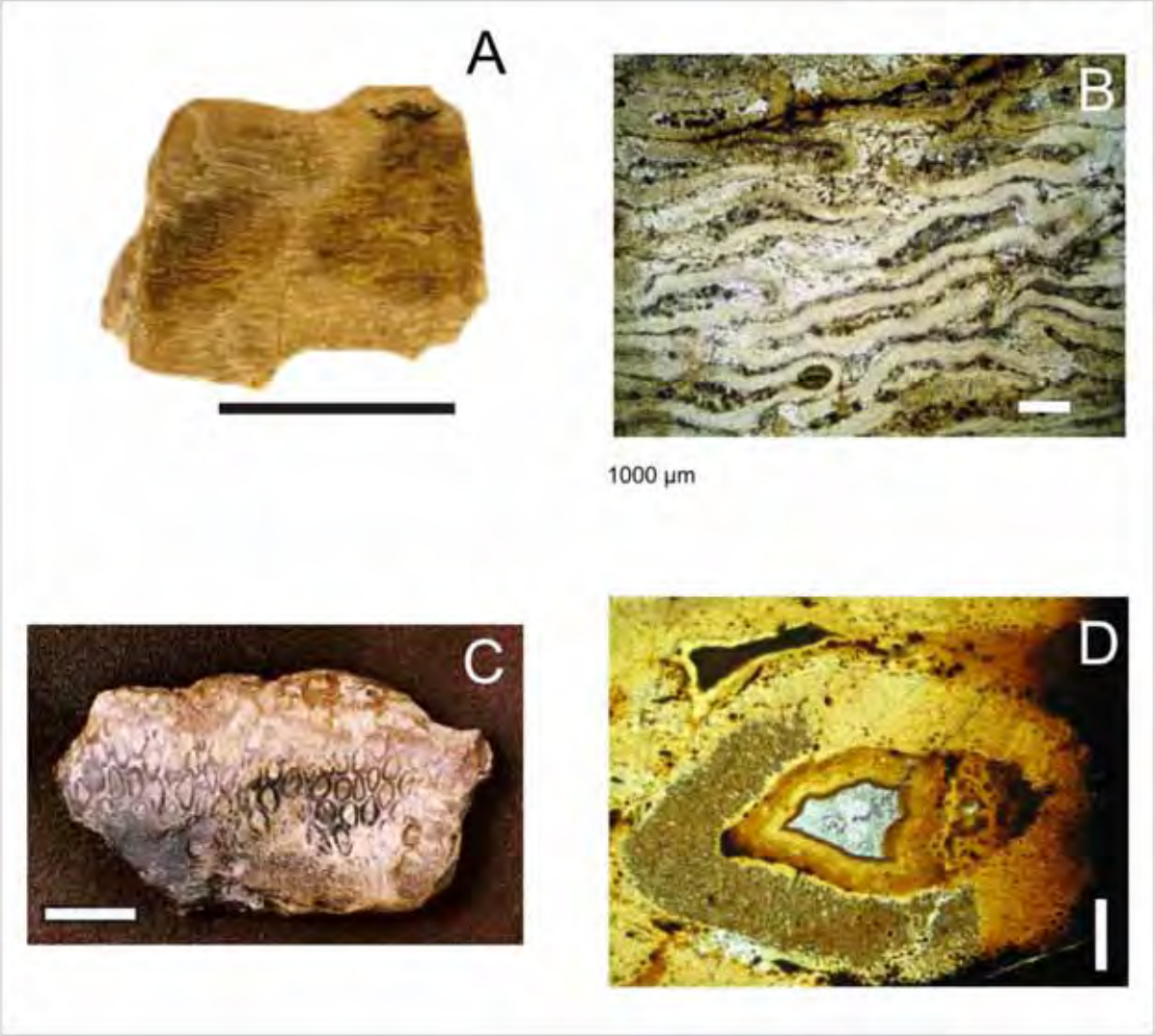
Estampa 21



Psaroniales Corsin, 1955
Gen. et sp. indet.

A- Exemplar IG/USP-IV-49-6. Vista de corte transversal do manto radicular; notar que as radículas são ligeiramente alongadas e comprimidas lateralmente. Escala = 10 mm.
B- Detalhe de A; o manto radicular não apresenta tecidos preservados. Escala = 1000 µm.
C- Exemplar IG/USP-GP/3E-298. Vista transversal do manto radicular; radículas ligeiramente alongadas e comprimidas. Escala = 10 mm.
D- Vista lateral do exemplar IG/USP-GP/3E-298. Escala = 10 mm.
E- Detalhe de C, mostrando as radículas, com interrupção no anel esclerenquimático (setas), em lâmina petrográfica. Escala = 1000 µm.

Estampa 22



Psaroniales Corsin, 1955
Gen. et sp. indet.

A- Exemplar IG/USP-GP/3E-299. Vista de corte transversal do manto radicular. Notar que as radículas são ligeiramente alongadas e comprimidas lateralmente. Escala = 10 mm.
B- Detalhe de A, tecido pouco preservado, radículas com o anel esclerênquimático interrompido (setas), em lâmina petrográfica. Escala = 1000 µm.
C- Exemplar IG/USP-GP/3E- 7474. Vista de corte transversal do manto radicular. Notar que as raízes são circulares e não estão comprimidas lateralmente. Escala = 10 mm.
D- Detalhe de C, os tecidos não se preservaram. Escala = 200 µm.

9. TAFONOMIA

As pecopterídeas sobrepõem diretamente uma porção brechóide – clastos angulosos milimétricos a centimétricos substituídos por sílica (Fig. 16 A, B). Junto às pecopterídeas também há muitos clastos silicificados de microfilos, almofadas foliares e fragmentos de ossos de peixes. Em certas partes, há pinas ou pínulas sobrepostas, porém estão tridimensionalmente bem preservadas e sem deformações. Nos locais em que os ráquis estão partidos, não há evidências de fibras estiradas; os cortes são "secos". Não se verificam danos nas porções apicais e marginais das pínulas, nem dobras nos limbos foliares, havendo preservação de células da epiderme.

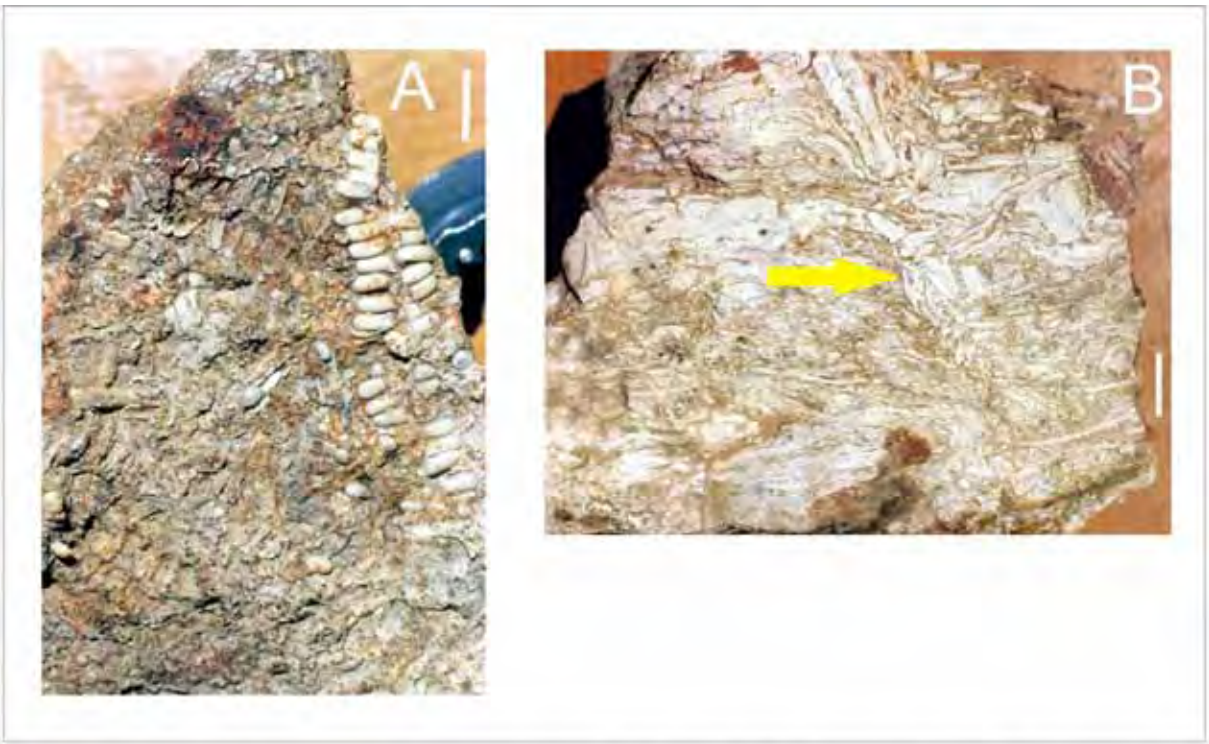


Figura 16. **A-** Vista em planta da superfície brechóide permineralizada por sílica contendo fragmentos de pinas. **B-** Vista lateral contendo clastos angulosos permineralizados por sílica (seta). Escalas = 10 mm.

Estes atributos tafonômicos permitem julgar que as pinas e pínulas foram ligeiramente retrabalhadas após já estarem permineralizadas por sílica. Os ráquis partiram-se nesse processo, assim como deve ter havido a separação de algumas pínulas. A brecha pode ter resultado do

ressecamento de sedimento lamoso que posteriormente experimentou ligeira mobilização. As pecopterídeas podem ter sido depositadas, originalmente, neste sedimento lamoso e ali, sob condições hidrodinâmicas muito calmas, sem carga sedimentar sobreposta, foram permineralizadas. Este ambiente deposicional situava-se, provavelmente, bastante próximo do ambiente de vida das filicíneas, tendo em vista o seu bom estado de conservação. O contexto ambiental deve ter sido, portanto, costeiro. O retrabalhamento dos vegetais já permineralizados provavelmente teve curta duração, sem transporte dos bioclastos por longas distâncias, pois as pinas e as pínulas fragmentaram-se pouco e não apresentam sinais de abrasão.

São necessários mais estudos para determinar qual foi a natureza original do material lamoso antes da silicificação. Pode ter sido carbonática, mas existem algumas razões para sugerir origem evaporítica. Tal sugestão coaduna com o processo de permineralização por sílica, pois explicaria a sílica em solução que invadiu os tecidos vegetais (considerando que não houve influência vulcânica ou hidrotermal na sedimentação). Nos ambientes de sedimentação, a sílica torna-se mais solúvel apenas em condições extremamente alcalinas, salinas e relativamente quentes (Fournier & Marshall, 1983), como no contexto evaporítico, aumentando também nos sistemas ricos em compostos orgânicos.

Uma possível situação evaporítica não fere outras considerações sobre a salinidade dos ambientes deposicionais das formações Corumbataí e Teresina. Análises químicas de alguns carbonatos indicaram condições até hipersalinas (e.g., Rodrigues & Quadros, 1976). Por outro lado, há ocorrências de algas carófitas parautóctonas preservadas em rocha siliciclásticas finas, as quais indicam condições de água doce a salobras (Burne et al., 1980). O ambiente deposicional pode ter apresentado oscilações da salinidade em conseqüência das variações do clima, ora mais úmido, ora mais seco (Rohn, 1994; Meglhioratti, 2006).

Os caules de Psaroniales estudados não permitem realizar profundas discussões tafonômicas, tendo em vista o seu estado fragmentário, sua ocorrência como blocos rolados isolados sobre o solo ou por falta de informações detalhadas sobre os fósseis incorporados em coleções paleontológicas. De qualquer modo, pode-se ressaltar que os foram pouco compactados antes de sua permineralização por sílica, pois eles praticamente mantiveram sua morfologia cilíndrica. Em relação ao processo de permineralização, devem valer as observações apresentadas para as pecopterídeas, porém são necessárias investigações mais profundas.

Os caules de filicíneas arbóreas da Formação Corumbataí não podem ser usados como indicadores da distância relativa da costa, pois podem ter flutuado por longas distâncias antes da deposição.

10. PALEOECOLOGIA E PALEOCLIMA

A análise das condições bióticas e abióticas do meio em que as filicíneas arbóreas viviam requer a conciliação de outras ciências, tais como a geologia, a biologia e a ecologia. Estas ciências, aos poucos, favorecem a reconstituição das antigas paisagens durante a deposição da Formação Corumbataí.

A principal informação geológica a ser resgatada, conforme já ressaltado nos capítulos anteriores, é que as intercalações de rochas carbonáticas na sucessão predominantemente siliciclática devem representar períodos de climas relativamente secos (Rohn, 1994; Meglhioratti, 2006). A granulação fina das rochas siliciclásticas sugerem que as áreas continentais adjacentes à bacia provavelmente apresentavam relevo muito arrasado. Não há evidências de grandes rios que tenham desagüado nos ambientes deposicionais das formações Corumbataí e Teresina, porém eventuais depósitos deltaicos podem ter sido retrabalhados por ondas de tempestades (Rohn, 1994).

A Formação Corumbataí exibe uma tafoflora pouco diversificada composta por macrovegetais vasculares com hábito de vida hidro-higrófilo, higrófilo, mesófilo e, em menor escala, xerófilo. As licófitas (hidro-higrófilas) parecem ser os vegetais mais representativos, seguindo-se as folhas de pteridófilas e de filicíneas (provavelmente higrófilas). Caules de Psaroniales (provavelmente higrófilos) e de gimnospermas (possivelmente mesófilos) são raros, porém ainda são mais freqüentes do que folhas de glossopterídeas (possivelmente mesófilas), caules e folhas de esfenófitas (higrófilos) e de coníferas (provavelmente xerófilas).

Os caules de licófitas da Formação Corumbataí, exemplificados pelos caules de Artemis (Município de Piracicaba, Estado de São Paulo) e estudados mais recentemente por Alarcon (1998), são relatados como sendo pouco diversificados e com diâmetros pequenos quando comparados aos da Formação Rio Bonito. Tais diferenças corroboram a interpretação de que o clima apresentou fases mais severas, com restrição de água em determinados momentos durante a deposição da Formação Corumbataí (Alarcon, 1998). Gastaldo (1986) observou que as licófitas arbóreas do Carbonífero possivelmente eram tolerantes às águas salinas. Esta condição pode ser aplicada à Formação Corumbataí.

Para a Formação Teresina há um único registro de folhas de coníferas denominadas *Krauselcladus canoinhensis* Yoshida, 1970 emend. Fanton et al., 2006. Suas estruturas morfo-anatômicas sugerem adaptações a condições xeromórficas, com deficiência hídrica fisiológica (Fanton et al., 2006).

Glossopterídeas são bastante raras nas formações Teresina e Corumbataí e, quando as folhas são encontradas, suas dimensões são pequenas (Perinotto & Rösler, 1984, 1985; Oliveira - Babinsky & Rösler, 1984; Rohn et al., 1997b). O tamanho pequeno das folhas poderia ser evidência adicional de condições climáticas relativamente secas

As pecopterídeas de Piracicaba estudadas na presente dissertação, preservadas tridimensionalmente, podem reforçar evidências do paleoclima que vigorava sobre a antiga comunidade.

Alguns aspectos importantes para interpretações paleoecológicas das pecopterídeas são similares aos discutidos por Rohn & Rösler (1986) para espécies permianas da Formação Rio do Rasto, no Brasil, e Vieira (2000) e Vieira et al. (2004) para a Formação Chutani, na Bolívia. No entanto, as pecopterídeas anteriormente descritas estão preservadas como impressões, apresentando muito menos elementos para discussão.

As pecopterídeas de Piracicaba permitem discutir os seguintes aspectos para interpretações paleoecológicas: (a) lâminas foliares espessas (660 μm a 990 μm); (b) margens laterais das pínulas fortemente encurvadas em direção à face abaxial (conferindo-lhes aspecto mais estreito que a largura real); (c) tamanho relativamente pequeno das pínulas; (d) células epidérmicas anticlinais de paredes lisas nas regiões venais e intervenais das pínulas; (e) ráquis e venações medianas e secundárias grossas na porção abaxial; (f) presença de cicatrizes de tricomas no ráquis e pínulas.

As filicíneas viventes geralmente são tipicamente higrófilas, com lâminas foliares finas, cutículas delicadas e estômatos simples. Algumas espécies herbáceas podem apresentar aspectos relacionados à xeromorfia, o que parece ser muito menos freqüente nas arbóreas pelo fato de estas normalmente viverem em florestas pluviais, ou seja, em regiões úmidas e sombreadas (Barthel & Weiss, 1997).

Nos casos de algumas filicíneas viventes, concluiu-se que pode ocorrer encurvamento de margens laterais de pínulas para a face abaxial para diminuir a superfície de exposição do limbo foliar aos raios solares e reduzir a área de evapo-transpiração. Este caráter, associado a um

espessamento do limbo foliar, que está diretamente relacionado com o desenvolvimento do mesófilo, diminui a perda de água, ou seja, o estresse hídrico (Givinish, 1995; Cutter, 1971). Entretanto, a redução da superfície foliar também pode ocorrer em ambientes higrófilos em resposta a solos ácidos ou mesmo em condições excessivas de luminosidade e temperatura (Björkman & Demmig-Adams, 1995). O vento pode ser outro fator controlante, já que o vegetal dispende energia para manutenção da integridade foliar durante fortes ventanias (Spicer, 1989).

Arens (1997) trabalhou com *Cyatea caracasana* Tryon, 1976, uma filicínea arbórea vivente. Na observação de folhas expostas a diferentes intensidades luminosas, este autor constatou que as folhas mais expostas aos raios solares apresentam enrolamento das margens laterais dos últimos segmentos das pinas, conferindo-lhes menor área laminar. Estas folhas também mostram espessamento do mesófilo pelo acréscimo de camadas celulares verticalmente alongadas do tecido paliçadico e cutículas mais espessas.

Graçano et al. (2001) verificaram que as pínulas de *Pityrogramma calomelanos* var. *calomelanos*, uma filicínea herbácea que ocorre ocasionalmente em pleno sol, apresenta as células do tecido clorofiliano mais alongadas e mesófilo mais espesso quando comparadas com espécies que vivem na sombra.

Watson (1942), num experimento com a angiosperma *Hedera helix*, observou que as folhas desenvolvidas na sombra, por longo período, apresentariam paredes delicadas e plásticas, favorecendo o desenvolvimento das sinuosidades. As folhas expostas ao sol, porém, teriam as paredes das células epidérmicas mais retilíneas, pois sofreriam menor expansão e, juntamente com a cutícula, seriam rapidamente espessadas e endurecidas. Sharma e Dunn (1968) e Wilkinson (1979) verificaram esta característica nas folhas expostas ao sol. Graçano et al. (2001) averiguaram que filicíneas atuais da espécie herbácea *Pityirogramma calomelanos* var. *calomelanos* possuem paredes das células epidérmicas da porção adaxial quase retas, enquanto que as da face abaxial – recebendo menor incidência de raios solares – são sinuosas. As células epidérmicas anticlinais das áreas venais e intervenais das pecopterídeas de Piracicaba possuem paredes lisas e não sinuosas. Este aspecto pode ser um bom indicador de alta incidência luminosa sobre as folhas.

Calibres grossos de ráquis e das venações contribuem, de forma geral, na diminuição da área do limbo foliar, reduzindo a área evapo-transpirante e fotossintetizante das pínulas (Roth-Nebelsick et al., 2001).

Pêlos na superfície abaxial normalmente proporcionam um microclima ligeiramente mais úmido sob as folhas, amenizando a perda de água para o exterior (Spicer, 1989). Nos ráquis e nas pínulas de Piracicaba há cicatrizes de tricomas que podem estar relacionadas com pêlos ou poderiam indicar escamas. Nota-se, principalmente nos ráquis, densidade relativamente alta e possível alinhamento das cicatrizes (Fig. 12).

Na literatura internacional sobre filicíneas fósseis, poucos trabalhos relacionam características morfo-anatômicas de folhas pecopterídeas à paleoecologia dos vegetais. Em geral, interpreta-se que a xeromorfia de folhas está relacionada à intensidade luminosa, disponibilidade de água, acidez e nutrientes disponíveis no substrato (Watson, 1942; Givnish, 1988; Arens, 1997), sendo difícil identificar um ou outro fator através dos estudos paleontológicos.

O gênero *Scolecopteris* corresponde a frondes, pinas e pínulas férteis de filicíneas com morfologia pecopterídea, atribuível às Psaroniales (Barthel et al., 1995; Barthel, 2002), encontrado em numerosas localidades em camadas de carvão de idade carbonífera na América do Norte (Mamay, 1950) e na Europa (Barthel & Weiss, 1997; Barthel, 2002). Lâminas foliares desproporcionalmente espessas e carnosas, a presença de pêlos e o enrolamento das margens das pínulas para a porção abaxial (principalmente quando há esporângios) em *Scolecopteris* seriam características xeromórficas indicativas de proteção contra ressecamento e armazenamento de água, possivelmente em situações de forte insolação devido à falta de vegetação mais alta que pudesse proporcionar sombra (Barthel et al., 1995; Barthel, 2002). *Scolecopteris* poderia apresentar pêlos nas pínulas e paredes externas reforçadas de esporângios (Millay, 1979), porém seu significado paleoecológico foi pouco enfatizado. Ráquis e veias medianas com parênquima espesso também seriam características xeromórficas (Barthel et al., 1995). As Psaroniales apresentam tecidos que aparentemente permitiam a abcisão natural das frondes ou pinas nas ocasiões de escassez de água, ao contrário da maioria das filicíneas recentes, cujas frondes murcham e secam sem perder conexão à planta-mãe (Barthel et al., 1995).

No caso do morfogênero *Alethopteris*, normalmente atribuído a frondes de pteridospermas (gimnospermas com folhas semelhantes às filicíneas), comum no Carbonífero da América do Norte, Europa e até na Turquia (Wegner,1968 apud Reihman & Schabilion, 1976), algumas espécies exibem lâminas foliares e venações medianas espessas, margens encurvadas, folhas pequenas, presença de pêlos multicelulares e células epidérmicas de paredes lisas. Cicatrizes de inserção de pêlos e papilas são muito comuns na epiderme abaxial, bem como estômatos

localizados profundamente no mesófilo (Reihman & Schabilion, 1976; Mickle & Rothwell, 1982). Estas estruturas seriam resultantes do ambiente pantanoso em que estas plantas cresceram - ricos em matéria orgânica, ácidos húmicos e baixo pH - onde a água não estava fisiologicamente disponível, e/ou indicariam intensa luminosidade que atingia algumas folhas conforme a sua localização na planta e a sua distribuição no dossel ou subdossel da vegetação circundante (Mickle & Rothwell, 1982). No caso das pecopterídeas de Piracicaba, as características xeromórficas provavelmente não resultaram de condições pantanosas, pois a Formação Corumbataí sugere ambientes oxidantes.

Diferentemente das folhas, os caules de Psaroniales estudados da Formação Corumbataí fornecem menos elementos para discussões no âmbito paleoecológico, em parte, devido ao seu estado fragmentário e à preservação não tão boa da anatomia e da morfologia. A literatura também não oferece muitas informações sobre a correspondência entre a anatomia caulinar e os ambientes de vida das Psaroniales, considerando-se inclusive o fato de que os caules geralmente são muito fragmentários e não preservados *in situ*. Até o momento, é impossível determinar as possíveis relações naturais entre as pecopterídeas e os caules de Psaroniales estudados, ressaltando-se também que as localidades de ocorrência são distintas.

A origem do gênero *Psaronius*, ou seja, da Ordem Psaroniales, parece ter ocorrido em zona climática tropical na Província Euramericana (DiMichelle & Phillips, 2002). Nos Estados Unidos, seu registro inicial é baseado na presença de esporos para o Westfaliano B e de macrofósseis vegetais para o Westfaliano D (Pfefferkorn & Thomson, 1982).

De acordo com a literatura, o desenvolvimento morfológico e anatômico destes vegetais em diferentes regiões dentro da Província Euramericana parece ter sido desigual. Para o Eocarbonídero na Inglaterra, Scoot (1920 apud DiMichelle & Phillips, 2002) ressaltou que os estelos de *Psaronius* já eram dictiostélicos e policíclicos. Lesnikowska (1989) observou que durante o Westfaliano C e D, os caules, estelos e manto radiculares possuíam diâmetros ainda relativamente pequenos, além de um comprimento também não muito grande do caule.

DiMichelle et al. (2005), através da investigação anatômica de alguns caules, consideraram que sua constituição seria econômica pela presença de tecido aerenquimático. Estes autores interpretaram esta constituição caulinar como indicativa da ocupação em terras úmidas no início do Carbonífero. Tais filicíneas inicialmente eram oportunistas.

Para o Stefaniano, período considerado de irradiação de *Psaronius*, os caules, os estelos e o manto radiculares seriam maiores do que no Westfaliano C e D, nos Estados Unidos (Lesnikowska, 1989). De acordo com Phillips et al. (1985), tal irradiação é interpretada, em parte, pelo fato dos caules representarem 60% a 80% da biomassa que originou os carvões stefanianos da Bacia de Illinois. Nesta fase, as Psaroniales não ficaram restritas apenas às margens de canais que apresentavam flutuações ativas do nível da água, mas expandiram-se para áreas de solos bem drenados além de adquirirem porte arbóreo de maiores dimensões (DiMichelle & Phillips, 2002).

Os caules *Psaronius* persistiram no Permiano em outras províncias florísticas como na Cataísia e no Gondvana, havendo inclusive ocorrências destes caules no Triássico da Antártica (Delevoryas et al., 1992).

Para o Permiano do Gondvana, os registros de Psaroniales restringem-se ao Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai. No Brasil, os caules distribuem-se nas bacias do Paraná e do Parnaíba. Na primeira, todas as ocorrências limitam-se às formações Corumbataí e Teresina.

Pode-se garantir que *Psaronius* da Formação Corumbataí apresentava hábito arbóreo pelo manto de raízes aéreas que circundava o estelo. Este manto representa um falso tecido vascular secundário e, de modo semelhante ao que ocorre com gimnospermas e angiospermas, ele poderia desenvolver também a função de proteção às intempéries ambientais (Chaloner & Mcelwain, 1997). As mesmas funções devem ser atribuíveis aos caules de *Tietea.*

De forma geral, exceto os tecidos esclerênquimáticos e xilemáticos, a composição anatômica dos fragmentos caulinares analisados é essencialmente parenquimática, de paredes celulares finas. Os poucos traqueídeos preservados que compõem o xilema primário dos meristelos e radíclulas apresentam espessamentos helicoidais e não foi verificada a presença de ductos resiníferos. Os mantos radiculares são pouco espessos quando comparados ao material da América do Norte, possuem apenas uma zona de radículas pequenas, radialmente organizadas e conectadas em parênquima cortical. Esta última característica foi observada nos caules mais completos e ocorre também em todos os fragmentos de manto radicular.

As clássicas descrições das espécies de *Psaronius* da América do Norte registram mantos radiculares muito espessos, sendo possível verificar a presença de duas zonas: a) interna, com as radículas menores, organizadas radialmente e imersas em parênquima ou aerenquima cortical, b) externa, com radículas maiores, desorganizadas e livres, isto é, sem parênquima cortical (Ehret & Phillips, 1977). A zona mais externa dos caules da Formação Corumbataí não foi verificada,

porém, não é possível afirmar se esta ausência se deve a uma condição estrutural dos caules ou a um problema de preservação.

Os exemplares URC PT- 78, URC PT- 80 e IG/USP/3E-289, classificados como *Tietea* cf. *Tietea singularis* devem corresponder a porções proximais de caules devido ao manto radicular ser relativamente espesso. As comparações realizadas com os exemplares descritos por Herbst (1986) procedentes dos Estados de São Paulo e Santa Catarina, no Brasil, demonstraram que o tamanho dos meristelos, diâmetro do caule, estelo e manto radicular são bem menores, quando comparados àqueles da Bacia do Parnaíba. Por outro lado, as informações dos dois trabalhos referentes à *Tietea* em Herbst (1986, 1992) também estão fundamentadas em fragmentos caulinares isolados, de modo que há dificuldades nas comparações e interpretações. Sem dúvida, faz-se necessário o exame de caules mais completos.

O exemplar IG/SMA- 4 classificado como *Psaronius* cf. *Psaronius arrojadoi* representa o primeiro registro de caule de *Psaronius* para a Bacia do Paraná. Este material exibe dimensão estelar bem menor se comparado ao exemplar de Herbst (1985).

Portanto, conforme os registros de fragmentos de filicíneas arbóreas da Bacia do Paraná da bibliografia e as comparações acima mencionadas para os caules estudados, tornam-se evidentes os seguintes fatos: a) as Psaroniales foram representantes pouco comuns ou tiveram baixo potencial de preservação durante a sedimentação da Formação Corumbataí; b) os caules de Psaroniales da Formação Corumbataí talvez não tenham sido tão exuberantes quanto os preservados na Bacia do Parnaíba em termos do diâmetro dos caules, estelos e mantos radiculares; c) nos estados de São Paulo e Santa Catariana ocorre predomínio de caules de *Tietea singularis* sobre *Psaronius*, d) até o momento, há somente um registro de interação planta-planta, tratando-se de um fragmento de manto radicular de Psaroniales com caule protostélico da epífita *Tubicaulis* sp. (Nehls, 2004).

Entre os fatos listados, a escassez de caules de Psaroniales na Bacia do Paraná, seu diâmetro relativamente pequeno e os seus meristelos também pequenos em comparação aos exemplares de outras bacias podem ter relação com paleoclimas menos úmidos.

Existem duas possibilidades para tentar explicar a "raridade" ainda maior de *Psaronius* em comparação ao número já reduzido de ocorrências de *Tietea*: a) os caules de *Psaronius* talvez tenham apresentado abundância similar à dos representantes de *Tietea,* porém, as condições não favoreceram a sua preservação; b) os caules foram de fato elementos menos expressivos, já

condenados ao declínio, em virtude da posição paleogeográfica relativamente distante da Flora Euramericana de origem, e por influência ambiental limitante, como a temperatura, precipitação, condições edáficas e topográficas. A própria interação ecológica com elementos florísticos diferentes daqueles do Carbonífero e Eopermiano da Euramérica deve ter induzido à perda por competição com elementos mais resistentes do Gondvana.

Assim como os primeiros *Psaronius* do Carbonífero, os representantes da Bacia do Paraná talvez tiveram caráter oportunista. *Tietea*, gênero restrito às bacias do Paraná e Parnaíba, provavelmente evoluiu no próprio Gondvana Ocidental e teve maior sucesso.

De qualquer modo, as Psaroniales aparentemente nunca se tornaram os vegetais dominantes no sul do Gondvana Ocidental. Ao contrário, na Bacia do Parnaíba, as Psaroniales foram os elementos vegetais mais abundantes (ou que foram predominantemente fossilizados), com diversidade aparentemente maior (*Tietea singularis* e pelo menos três espécies de *Psaronius*: *P. brasiliensis*, *P. arrojadoi* e *P. sinuosus*). Os outros elementos florísticos encontrados em associação às Psaroniales (ex.: *Grammatopteris*) e a falta de glossopterídeas indicam maior afinidade da flora da Bacia do Parnaíba às floras setentrionais (Röβler, 2006), onde as filicíneas arbóreas provavelmente correspondiam a uma proporção bem maior da comunidade vegetal.

O único registro de interação do manto radicular de uma Psaroniales da Bacia do Paraná com o caule de *Tubicaulis* sp. também parece indicar associação florística relativamente pobre. Contudo, o número de amostras disponíveis das formações Teresina e Corumbataí não é significativo para tal abordagem. Já na Bacia do Parnaíba, onde os fósseis são muito mais abundantes, os exemplos de interação entre raízes de Psaroniales e de outras samambaias arbóreas com gimnospermas e esfenófitas (Rößler, 2006) corroboram a interpretação de que a respectiva comunidade florística era mais rica.

Concluindo, diversas feições das pecopterídeas de Piracicaba juntamente com as características dos caules de Psaroniales da Formação Corumbataí podem ser interpretadas como adaptações xeromórficas por estresse hídrico e/ou alta incidência luminosa (por falta de vegetais mais altos na comunidade que pudessem ter promovido sombra). Estas hipóteses coadunam com outras evidências de condições climáticas relativamente secas durante a sedimentação da Formação Corumbataí.

11. BIOESTRATIGRAFIA

As pecopterídeas do afloramento de Piracicaba estão associadas aos microfilos e caules de licófitas. Este afloramento representa a parte superior da Formação Corumbataí na porção nordeste do Estado de São Paulo. De acordo com Rohn (1994) esta unidade litoestratigráfica corresponderia a uma região próxima à paleoborda da Bacia do Paraná, com pequena espessura se comparada às unidades sulinas equivalentes. Cabe ser ressaltado, porém, que a pequena espessura se deve, em parte, à longa fase de erosão que ocorreu nas bordas da bacia antes da deposição da unidade litoestratigráfica seguinte, a Formação Pirambóia.

Quanto à posição estratigráfica dos caules, é possível afirmar que aqueles coletados em Batalha (Rio Claro) também pertencem à parte superior da Formação Corumbataí. Nesta localidade ocorrem bivalves da Zona *Pinzonella neotropica*, a qual corresponde à biozona superior de bivalves da formação; em região próxima aflora a Formação Pirambóia. Os outros caules foram encontrados rolados, sem associação a outros vegetais e sem informações precisas sobre os locais de coleta, não sendo possível esclarecer a sua posição estratigráfica exata.

De qualquer modo, toda a Formação Corumbataí, assim como a Formação Teresina, inclui microfilos e caules de licófitas, entre os quais uma espécie é *Lycopodiopsis derbyi*. A distribuição vertical e horizontal desta licófita define a Zona *Lycopodiopsis derbyi* proposta por Rohn & Rösler (2000) (Fig. 5). A biozona também inclui algumas glossopterídeas, carófitas, conífera *Krauselcladus* e *Pecopteris taguaiensis*. Outras espécies aqui descritas são novos elementos desta biozona.

O intervalo com *Lycopodiopsis derbyi* faz parte da Tafoflora D de Rösler (1978) composta por uma associação florística pobre em elementos, evidenciadas pelo início da aridização na Bacia do Paraná.

12. CONCLUSÕES

- As folhas pecopterídeas permineralizadas de Piracicaba foram formalmente classificadas em *Pecopteris taguaiensis* Rohn & Rösler, *Pecopteris* sp. 1, *P*ecopteris sp. 2 e *P*ecopteris sp. 3. A primeira espécie tem sua área de abrangência estendida à cidade de Piracicaba.

- A preservação tridimencional permitiu observar a forma geral das pínulas e células da epiderme, embora os tecidos internos não tenham sido preservados.

- A diagnose de *Pecopteris taguaiensis* foi emendada em vista da observação de características adicionais como a diferenciação morfológica entre entre as porções adaxiais e abaxiais das pinas e pínulas, e células epidérmicas das veias medianas e secundárias da face abaxial. Entre as espécies estudadas, somente *Pecopteris taguaiensis* apresenta ráquis com cicatrizes de pêlos e/ou escamas na porção abaxial.

- *Pecopteris* sp. 1 e *P*ecopteris sp. 2 distinguem-se não só pela morfologia das pínulas, como também pelas paredes das células epidérmicas anticlinais da região intervenal da porção adaxial.

- *Pecopteris* sp. 3 exibe o ângulo do ápice da pina mais agudo e pínula distal mais longa quando comparado a *P. taguaiensis* e *Pecopteris* sp. 1. As células epidérmicas intervenais são semelhantes a de *P*ecopteris sp. 2, porém, a morfologia das pínulas é bem distinta. *Pecopteris* sp. 3 é a única espécie estudada a exibir cicatrizes de pêlos e papilas na superfície adaxial de suas pínulas.

- Diversas feições das pecopterídeas podem ser xeromórficas: o tamanho pequeno das pínulas, o limbo foliar espesso, as margens encurvadas em direção à porção abaxial e as paredes retilíneas das células epidérmicas, observados em todos os exemplares, em acréscimo às cicatrizes dos ráquis e ao calibre relativamente grosso das veias medianas e secundárias na porção abaxial de *P*ecopteris *taguaiensis*, além das cicatrizes de inserção de pêlos e papilas na porção adaxial de *P*ecopteris sp. 3.

- As pecopterídeas provavelmente foram permineralizadas por sílica antes de retrabalhadas e sepultadas.

- Considerando-se que na Formação Corumbataí e nas coevas da Bacia do Paraná ainda não foram encontradas pteridospermas, é bastante provável que as pecopterídeas estudadas correspondam a folhas estéreis de filicíneas.

- Os fragmentos caulinares foram classificados como *Tietea* cf. *Tietea singularis* e *Psaronius* cf. *Psaronius arrojadoi*. Pela primeira vez registra-se rigorosamente o gênero *Psaronius* para a Bacia do Paraná, na área brasileira. O gênero *Tietea* ocorre em maior abundância. As classificações basearam-se principalmente na morfologia dos estelos, já que os tecidos não estão bem preservados ou, num caso (*Psaronius* cf. *Psaronius arrojadoi*), porque não foi possível a confecção de lâminas petrográficas.

- Os caules classificados como *Tietea* cf. *Tietea singularis* devem corresponder a porções proximais de caules devido ao manto radicular ser relativamente espesso.

- Os fragmentos de mantos radiculares aqui estudados ou anteriormente descritos para a Bacia do Paraná não possuem características diagnósticas para classificação em gêneros e/ou espécies. Quando comparados aos mantos radiculares das espécies da Província Euramericana, as quais se subdividem nas zonas interna e externa, aqueles da Bacia do Paraná exibem apenas a parte mais interna, com radículas menores, circulares, organizadas radialmente e imersas em parênquima cortical. Não é possível afirmar se a ausência da zona mais externa se trata de uma condição estrutural dos caules ou de um problema de preservação.

- As Psaroniales, especialmente filicíneas com caules do gênero *Psaronius*, foram representantes pouco comuns ou tiveram baixo potencial de preservação durante a sedimentação da Formação Corumbataí e de unidades coevas da Bacia do Paraná. Aparentemente não foram tão exuberantes quanto os preservados na Bacia do Parnaíba em termos dos diâmetros dos caules, e dos estelos e das espessuras dos mantos radiculares.

- Os caules provavelmente foram permineralizados por sílica antes de sepultados devido à manutenção da forma original aproximadamente cilíndrica, sem achatamento.

- As características dos caules de Psaroniales da Formação Corumbataí, assim como diversas características das pecopterídeas, podem ser interpretadas como adaptações xeromórficas por estresse hídrico e/ou alta incidência luminosa (por falta de vegetais mais altos na comunidade que pudessem ter promovido sombra). Estas hipóteses coadunam com outras evidências de condições climáticas relativamente secas em determinados intervalos durante a sedimentação da Formação Corumbataí. Outros vegetais fósseis da mesma unidade (licófitas e coníferas) também apresentam feições xeromórficas. Todos fazem parte da Zona *Lycopodiopsis derbyi*.

- A escassez de *Psaronius* e, de uma forma geral, das Psaroniales, talvez esteja relacionada a condições climáticas relativamente secas ou a problemas tafonômicos, devendo-se também levar em consideração sua origem na Flora Euramericana durante o Carbonífero. Onde as condições climáticas, ecológicas e edáficas provavelmente eram muito distintas.

13. REFERÊNCIAS

Alarcon, C.M. **Licófitas da Formação Corumbataí, Grupo Passa Dois, Neopermiano, Bacia do Paraná, na região de Artemis, Município de Piracicaba, SP - Brasil**. 1998. 97p: + 7 est. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto Biológico, Universidade Guarulhos, São Paulo, 1998.

Anderson, J. M.; Anderson, H. M. **Paleoflora of Souphern Africa. Prodromus of South African megafloras**. Devonian to Lower Cretaceous. A.A. Balkema-Rotterdan: 1985. 423 p.

Arai, M. Contribuição dos polens estriados na bioestratigrafia neopaleozóica da parte NE da Bacia do Paraná. **Bol. IG-USP**, v. 11, p. 125-135. 1980.

Archangelsky, S.; de la Sota, E. Contribución al conocimiento de las filices permicas de Patagônia Extraandina**. Act. Geol.Lilloana**, v. 3, p. 85-126. 1960.

Archangelsky, S.; Arrondo, O. G. Palaeophytologia Kurtziana. III La Tafoflora Permica de Sierra de Los Llanos Província La Rioja. **Revista de la Associacón Paleontológica Argentina**, v. 3, p. 201-228. 1973.

Arens, N. C. Responses of leaf anatomy to light environment in the tree fern *Cyathea caracasana* (Cyatheaceae) and its application to some ancient seed ferns. **Palaios**, v. 12, n°-1, p. 84-94. 1987.

Arrondo, O.G. "*Dizeugotheca branisae*" n.sp. nueva felice eusporandiada del Permico Inferior, Bolívia**. Rev. Mus. La Plata** (N. Ser.), v. 5, p. 55-61. 1967.

Arrondo, O.G. Estudio geológico y paleontológico en la zona de la Estância La Juanita y arredores, Prvincia Santa Cruz, Argentina. **Rev. Mus. La Plata** (N. Ser.), 7, v. 43, p. 1-194. 1972.

Azcuy, C.L.; Césari, S. N. Primeiros estúdios sobre plantas fosiles de la Formacion Libertad, Província de La Rioja, Argentina. **Bol. IG-USP**, v. 11, p. 49-55. 1980.

Barthel, M.; Reichel, W.; Weiss, H-J. Madnesteine in Sachsen. Neue Funde von *Scolecopteris elegans* Zenker in der Typus-Lokalität. **Abhandlunger des Staalichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden**. v. 41, p. 117-135. 1995.

Barthel, M. R.; Weiss, H. Xeromorphe Baumfarne im Rotliegend Sachsens Veröff**. Museum für NaturKunde Chemnitz**, v. 20, p. 45-56. 1997.

Barthel, M. Die Madenesteine vom Windberg Deustchland (The Maggot stones from windberg Ridge, Germany). In: Denrbach, U.; Tidwell, W. D. **Geheimnisse Versteinerter Planzen. Faszination aus Jahrmillionen**. p. 64-77. D'oro, 2002.

Bernardes-de-Oliveira, M.E. **Tafoflora Eogondvânica da Camada Irapuá, Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão), SC. São Paulo**. 1977. 2v. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1977.

Bernardes-de-Oliveira, M.E.; Ricardi-Branco, F.; Rohn, R.; Zampirolli, A.P.; Amaral, P.G. do.; Lages, L.C.; Longhim, M.E. Sucessão megaflorística do Carbonífero Superior – Permiano Inferior (Grupo Tubarão), Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 17., 2001, Rio Branco. **Boletim de Resumos...** Rio Branco: UFA, 2001. p. 72.

Beurlen, K. As formações Gondwanicas do sul do Estado do Paraná. **Div. Geol. Min.** Rio de Janeiro, 1955. 52 p. (Boletim 153).

Björkman, O.; Demmig – Adams, B. Regulation of photosynthetic light energy capture, conversion, and dissipation in leaves of higher plants. In: Schulze, E. D.; Caldwell, M. M. **Ecophysiology of Photosynthesis**. New York: Springer-Verlag, 1995. v. 100, p. 17-47.

Bortoluzzi, C. A. Estude de quelques empreintes de la flore gondwaniénne du Brésil. In: CONGR. NATL. SOC. SAVANTES, 95., 1975, Reims. **Comptes Rendus**... Reins: Bibliothèque Nationale, 1975. p. 1971-1987.

Boureau, E.; Doubinger, J. Pteridophylla. In: _____. **Traité de Paleobotanique: Filicophyta**. Paris: Masson, 1975. 768p. Tome 4, fasc. 2, p. 25-178.

Brongniart, A. Prodrome d'une Histoire des Végétaux Fossiles. **Dict. Sci. Nat**., v. 57, p. 15-212, 1928.

Burne, R. V.; Bauld, J.; De Deckker, P. Saline lake charophytes and theier geological significance. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 50. n°- 1, p. 281-293. 1980.

Cazzulo-Klepzig, M. Estudo da tafoflórula do Membro Morro Pelado na sua localidade-tipo. **Pesquisas**, v. 11, p. 225-303. 1978.

Cazzulo-Klepzig, M.; Correia, N. R. Contribuição ao estudo da tafoflora permiana no Membro Serrinha na Serra do Cadeado, Estado do Paraná, Brasil. In: CONGRESSO LATINO – AMERICANO. PALEONTOLOGY, 2, 1981, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre. 1981. p. 233-247.

Chaloner, W. G.; Mcelwain, J. The fossil plant record and global climatic change. **Rev. Palaeobot. Palynol**., v. 95, p. 73-82. 1997.

Cisneros, J. C.; Abdala, F.; Malabarba, M. C. Pareiasaurids from the Rio do Rasto formation, Southern Brazil: bioestratigraphic implications for Permian faunas of the Paraná Basin. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 8, n. 1, p. 13-24. 2005.

Corsin, P. Pécoptéridés. In: _____. **Estudes des Gites Mineraux de la France. Bassin Houiller de la Sarre et de la Lorraine. I Flora Fossile**. p. 175-370. 1951. Fasc. 4.

Cotta, C. B. Dendrolithen, in beziehung auf ihren inneren Bau. (only *Psaronius*), p. 28-36. **Arnoldishe Buchhandlung**, Leipzig. 1832.

Cunha, P. R. C.; França, A. B. Estudo das taxas de sedimentação das formações Teresina e Rio do Rasto – Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1., 1993, Rio Claro. **Resumos ...**, Rio Claro: UNESP, 1993. p. 83.

Cutter, E. G. **Plant anatomy**: Experiment and Interpretation. London: Addison Wesley, 1971. Parte 2. 343 p.

Daemon, R. F.; Quadros, L. P. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24., 1970, Brasília. **Anais...** São Paulo, SBG. 1970. p. 359-412.

Daemon, R.F. Integração dos resultados palinológicos da fauna e flora de camadas fossilíferas do Neopaleozóico da Bacia do Paraná, implicações estratigráficas e paleogeográficas. **Rev. Unimar**, v.1, n. 1, p.29-41, 1974.

Demon, R. F,; Casaletti, P. L.; Ciguel, J. H. G. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO DO SILURIANO – DEVONIANO, 1996., Curitiba. 1996. p. 55-71.

Delevoryas, T.; Taylor, T. N.; Taylor, E. L. A marattialean fern from the Triassic of Antártica. **Rev. Paleobot. Palynol**., v. 74, p. 101-107. 1992.

Derby, O.A. Observations on the stem stucture of *Psaronius brasiliensis*. **Amer. J. Sci**, v. 36, p. 489-497. 1913.

Derby, O.A. Illustrations of the stem structure of *Tietea singularis.* **Amer. J. Sci**, v. 36, n. 4, p. 251-260. 1915.

DiMichele, W. A.; Phillips, T. L. The ecology of Paleozoic ferns. **Rev. Palaeobot. Palynol**., v. 119, p. 143-159. 2002.

DiMichele, W. A.; Gastaldo, R. A.; Pfefferkorn, H. W. Plant biodiversity partitioning in the Late Carboniferous and Early Permian and its implication for ecosystem assembly. **Proceedings of the California Academy of Sciences**, v. 56, Supl. 1. n. 4, p. 32-49, 2005.

Ehret, D. L.; Phillips, T. L. *Psaronius* root systems – morphologgy and development. **Palaeontographica, Abt. B**., v. 161, p. 147-164. 1977.

Fanton, J.C.M.ET et al. Estudo morfo-anatômico do gênero de conífera *Kräuselcladus* Yoshida, Formação Teresina (Permiano Superior), Bacia do Praná.Brasil. In: REUNIÃO DE PALEOBOTÂNICOS E PALINÓLOGOS, 11., 2004, Gramado. **Boletim de Resumos ...** Gramado: UFRGS, 2004. p. 61.

Fanton, J.C.M. et al. A conífera neopermiana *Krauselcladus* Yoshida da Formação Teresina (Bacia do Paraná), Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 19.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 6,. 2005, Aracaju. **Resumos...** Aracaju: SBP, Aracaju, 2005. 1 cd.

Fanton, J. C. M. et al. Reinvestigação da conífera permiana *Krauselcladus* (Formação Teresina, Bacia do Paraná, Brasil): novas interpretações morfológicas e anatômicas. **Rev. Paleontologia**, v. 9, n. 2, p. 221-234. 2006.

Fournier, R.O.; Marshall, W.L. Calculations of amorphous silica solubilities at 25o to 300oC and apparent cation hydration numbers in aqueous salt solutions using the concept of effective density of water. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v.47, p. 587-596. 1983.

França, A. B. et al. Phanerozoic correlation in southern South América. **American Association of Petroleum Geologist**, Tulsa, Memoir 62, p 129-161, 1995.

Gastaldo, R. A. Implications on the paleoecology of autochthonous Licopods in clastic sedimentary enviroments of the early Pennsylvanian of Alabama. **Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 53, p. 191-212. 1986.

Givnish, T. J. Adaptation to sun and shade: A whole – plant perspective. **Aust. J. Plant Physiol**.; v. 15, p. 63-92. 1988.

Givnish, T.J. Plant stems. Biomechanical adaptation for energy capture and influence on species distributions. In: Gartner, B. L. **Plant Stems**: Physiology and functional morphology. Academic Press. 1995. p. 3-49.

Ghilardi, R. P.; Simões, M.G. Foram os bivalves do Grupo Passa Dois (Exclusive Formação Rio do Rasto), Neopermiano, invertebrados tipicamente dulcícolas? **Pesquisas em Geociências**, v. 29, n. 1, p. 91-99, 2002.

Graçano, D.; Azevedo, A. A,; Prado, J. Anatomia foliar das espécies de Pteridaceae do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) – MG. **Revta. Brasil. Bot**., v. 3, p. 333-347, 2001.

Greuter, W. et al. Código Internacional de Nomenclatura Botánica. Ed. Koeltz scientific Books. 2000. v. 138. 181 p.

Herbst, R. Helechos Pérmicos del Paraguay. In: CONGRESSO ARG. PALEONT. Y BIOESTRATIGR., 1., 1975, Tucumán. **Actas...** Tucumán. 1975. p. 428-439.

Herbst, R. *Asterotheca golondriensis* n. sp. From the Lower Permian Golondrina series of the Bajo de La Leona, Santa Cruz, Argentina. **Paleobotanist**, v. 25, p.126-129, 1976.

Herbst, R. Nueva descripcion de *Psaronius arrojadoi* (Pelourde) (Marattiales), Del Permico de Brasil. **Ameghiniana**, Buenos Aires, v. 21, n. 2-4, p. 243-258. 1985.

Herbst, R. Studies on Psaroniaceae. I. The family Psaroniaceae (Marattiales) and a redescription of *Tietea singularis* Solms-Laubach, from the Permian Brazil. In: CONGRESO ARGENTINO PALEONTOLOGIA Y BIOESTRATIGRAFIA, 4., 1986, **Actas…** 1986. p. 163-171.

Herbst, R. Studies on Psaroniaceae.II. *Tuvichapteris solmsi* nov.gen. et. SP. From the Permian of Paraguay and Uruguay. In: CONGRESSO LATINO- AMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 4., 1987, Bolívia. **Anais...** Bolívia:1987. p. 267-282.

Herbst, R. Studies on Psaroniaceae. III. *Tietea derby* n. sp., from the Permian of Brazil**. Cour. Forsch.- Inst. Senckenberg**,v. 147, p. 155-161, 1992.

Herbst, R. Studies on Psaroniaceae. IV. Two species of *Psaronius* from Araguaina, State of Tocantins, Brazil. **Facena**, v. 15, p. 9-17, 1999.

Hilton, J.; Wang, S-J.; Galtier, J.; Li, C-S. An Early Permian plant assemblage from the Taiyan Formation of northern China with compression/impression and permineralized preservation. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 114, p. 175-189, 2001.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. 1981. 1 mapa, color., 80 cm x 114 cm. Escala 1: 1.000.000.

Lacey,W. S.; Huard-Moine. Karoo Floras of Rhodesia and Malawi. Part. 2. The Glossopteris Flora in the Wankie District of Southrn Rhodesia. In: SYMPOSIUM ON FLORISTICS AND STRATIGRAPHY OF GONDWANDLAND, 1966, Lucknow. **Proceedings …** Lucknow: 1966. p. 13-25.

Landim, P. M. B. **O Grupo Passa Dois na bacia do Rio Corumbataí, SP**. Rio de Janeiro, DNPM, DGM, 1970. v. 252. 103 p.

Lavina, E. L. **Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (intervalo Kazaniano – Scythiano) da Bacia do Paraná**. 1991. 2v. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

Leanza, A. F. Braquiópodos y pelecípodos carboníferos em la Província de La Rioja (Argentina). **Rev. Mus. La Plata**, v. 3, n. 18, p. 237-264, 1948.

Leguizamon, R. R. Estudio Paleobotânico de La Formación Tasa Cuna, Permico Inferior de La Província de Córdoba**. Revista de la Associación Paleontológica Argentina**, v. 4, p. 305-342, 1972.

Le Roux, S. F. On some " Northern" elements in the Lower Gondvana flora of Vereeniging, Transvaal. **Palaeont. Afr**, v. 19, p. 55-59, 1976.

Lesnikowska, A. D. **Anatomically preserved Marattiales from the swamp of the desmoinesian and Missourian of the midcontinent United States: systematics, ecology, and evoluyion**. PhD. Thesis, Universyty of Illinois, Urbana – Champaign. 1989.

Lourenço, A.T.A. **As formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, Permiano) na região de Sapopema - São Jerônimo da Serra, PR.** 2002. 87f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2002.

Maheshwari, H.; Prakash, G. Studies in the Glossopteris flora of India-21. Plant Megafossil from the lower Gondvana exposures along Bansloi river in Rajmahal Hills, Bihar. **Palaeobotanist**, v. 13, n.. 2, p. 115-131, 1964.

Maithy, P. K. Some contribuitions to the knowledge of Indian lower Gondvana ferns. **Palaeobotanist**, v. 22, p. 29-38, 1975.

Millay, M. A. Studies of Paleozoic Marattialeans: A monograph of the American species of *Scolecopteris*. **Palaeontographica Abt. B**., v. 169, p. 1-69, 1979.

Mamay, S. H. Some American Carboniferous fern frutifications. **Ann. Missouri. Bot. Gard**., v. 37, p. 409-476, 1950.

Maniero, J. Contribuição ao estudo de Pteridíneas do sul do Brasil. In: Lange, F.W. (Ed). **Paleontologia do Paraná**. Comissão de Comemorações do Centenário do Paraná, 1954. p. 151-152. Estampas 10-11. Volume Comemorativo do 1°- Centenário do Estado do Paraná, Curitiba.

Maranhão, M.S.A.S. **Fósseis das formações Corumbataí e Estrada Nova do Estado de São Paulo: subsídios ao conhecimento paleontológico e bioestratigráfico**. 1995. 2v. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

Marques-Toigo, M. **Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil**. 1988. 1 v. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

Marques-Toigo, M. Palynobioestratigraphy of the of the Southern Brazilian Neopaleozoic Gondvana Sequence. In: GONDVANA SYMPOSIUM, 7., São Paulo, **Proceedings ...** São Paulo, 1991. p. 503-515.

Meglhioratti, T. **Estratigrafia do Grupo Passa Dois na região de Sapopema-Congoinhas/PR (Permiano, Bacia do Paraná)**. 2005. 1 v. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

Meglhioratti, T. **Estratigrafia de seqüências das formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Permiano, Bacia do Paraná) na porção nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo**. 2006. 1 v. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

Mello, L.H.C. **Análise cladística dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano), Bacia do Paraná, Brasil: implicações taxonômicas, evolutivas e paleobiogeográficas.** 1999. 1v. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

Mendes, J.C. A Formação Corumbataí na região do rio Corumbataí: estratigrafia e descrição dos Lameribrânquios. **Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letr**. Geol., 8. v. 145, 1952. 119 p., 4 est.

Mendes, J.C. Lamelibrânquios permianos do oólito de Angatuba. Estado de São Paulo (Formação Corumbataí)**. Bol. Soc. Bras. Geologia**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 37-56. est. 1-2, 1962a.

Mendes, J.C. Lamelibrânquios permianos do Estado de Mato Grosso, Formação Estrada Nova. Bol. **Soc. Bras. de Geol**, São Paulo, v. 12, n. 1-2, p. 57-64, 1963.

Mendes, J.C. The Passa Dois Group (The Brazilian Portion of the Paraná Basin). In: Bigarella, J,J.; Becker, R. D.; Pinto. I. D (Ed) **Problems in Brazilian Gondvana Geology**. Curitiba: Coms. Carta. Geol. Paraná, 1967. p. 121-178.

Mendes, J. C. Sobre os paleoambietes deposicionais do Grupo Passa Dois. **Rev. IG**, São Paulo, v. 5, n. 1/2, p.15-24, 1984.

Menning, M. et al. Global time scale and regional stratigraphic reference scales of Central and West Europa, East Europa, Tethys, South China, and North America as used in the Devonian- Carboniferous-Permian Correlation Chart 2003 (DCP 2003). **Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology**, v. 240, p. 318-372, 2006.

Mezzalira, S. Ocorrências fossilíferas novas da Série Passa Dois na região Limeira – Rio Claro – Piracicaba. **Bol. Soc. Brás. de Geol**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 37-58, 1957.

Mezzalira, S. Bioestratigrafia do Grupo Passa Dois no Estado de São Paulo. **Rev. IG**. São Paulo, v. 1, n. 1, p. 15-34, 1980.

Mezzalira, S. Os fósseis do Estado de São Paulo**.** 2. ed. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente**. Rev. Instituto. Geológico**, 1989.141 p. (Série Pesquisa).

Mickle, J. E.; Rothwell, L. W. Permineralized *Alethopteris* from the Upper Pennsylvanian of the Ohio and Illinois. **Journal of Paleontology**, v. 56, n. 2, p. 392-402, 1982.

Mickle, J. E. Taxonomia of specimens of the Pennsylvanian age marattialean fern *Psaronius* from Ohio and Illinois. Illinois State. **Mus. Sci. Pap**., v.19. p. 1-64, 1984.

Milani, E.J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondvana sul-ocidental**. 1997. 2v. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

Millay, M. A. Studies of Paleozoic Marattialeans: A monograph of the American species of *Scolecopteris*. **Paleontographica Abt. B**., v. 169. p. 1-69, 1979.

Morgan, J. The morphology and anatomy of Amarican species of *Psaronius*. **Illinois Biol. Monographs**. v. 27, p. 1-107, 1959.

Mussa, D. **Lignitafofloras permianas da Bacia do Paraná, Brasil (Estados de São Paulo e Santa Catarina)**. 1982. 2v. Tese (Doutorado em Geociências)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1982.

Nehls, C. **Taxonomia de lenhos do planalto de Canoinhas, Santa Catarina, Brasil (Permiano da Bacia do Paraná)**. 2004. 1v. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

Oliveira, D. **Filicíneas férteis da Formação Rio do Rasto (Permiano Superior, Santa Catarina e Paraná)**. 1994. 1 v. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1994.

Oliveira – Babinski, M. E. C. B.; Rösler, O. Licófitas de Fuviópolis (Permiano Superior) no sul do Estado do Paraná. **Bol. IG-USP. Sér. Cient**., v. 15, p. 84-89, 1984.

Pant, D. D.; Misra, L. Compressions of a new type of *Pteridophyll*, *Asansolia* gen. nov. from the Lower Gondvanas of the Raniganj Coalfield, India**. Palaeontographica, Abt. B**, v. 155, p. 129-139, 1976.

Pelourde, F. **A propos des *Psaroniées* du Brésil**. Comp. Rend. Ass. Franc. Avon. Sci. (Congrèss du Havre), p. 445-445. 1914.

Perinotto, J.A. J; Rösler, O. Glossopterídeas de Fluviópolis (Permiano Superior) no sul do Estado do Paraná. **Bol. IG-USP. Ser. Cient**., v. 15, p. 90-96, 1984.

Perinotto, J.A. J; Rösler, O. Nota sobre a ocorrência de *Glossopteris* na porção superior da Formação Corumbataí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8., 1985, Rio de Janeiro. p. 619-622. (Série Geologia, 27; Paleont./Estrat., 2).

Petri, S.; Fulfaro, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 1983. 577 p.

Pfefferkorn, H. W.; Thomson. M. Changes in dominance patterns in Upper Carboniferous plant-fossil assemblages. **Geology**, v. 10, p. 641-644, 1982.

Phillips, T. L.; Peppers, R. A.; Dimichele, W. A. Stratigraphic and interregional changesin Pennsylvanian coal – swamp vegetation: enviromental infrences. **Int. J. Coal. Geol**., v. 5, p. 43-109, 1985.

Ragonha, E. W. **Taxonomia de dentes e espinhos isolados de Xenacanthodh (Chondrichtyes, Elasmobranchii) da Formação Corumbataí. Considerações cronológicas e Paleoambientais**. 1984. 1v. Tese (Doutorado em Paleontologia e Estratigrafia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

Raven, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S.E. **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 856 p.

Read, C. B. Plantas fósseis do Neo-paleozóico do Paraná e Santa Catarina. **Monografia da Divisão de Geologia e Mineralogia, Ministério da Agricultura**, v. 2, p. 1-102, 1941.

Reihman, M. A.; Schabilion, J. T. Cuticles of two species of *Alethopteris*. **Amer. J. Bot**., v. 63, n. 8, p. 1039-1046, 1976.

Remane, J. **Explanatory note to the International Stratigraphic Chart**. Trondheim, Norway: International Union of Geological Sciences, International Commission of Stratigraphy, 2002. v. 3, 16p.

Rigby, J.F. New fossil locality near Laras, State fo São Paulo. In: CONGRESSO DE GEOLOGIA, 22., 1968, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 1968. p. 201-208.

Rodrigues, R.; Quadros, L. P. Mineralogia das argilas e teor de boro das formações paleozóicas da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. **Annais ...** Ouro Preto: 1976. v. 2, p. 351-379.

Rohn, R. **Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano do leste de Santa Catarina e do Paraná.** 1994. 2v. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

Rohn, R. A estratigrafia da Formação Teresina (Permiano, Bacia do Paraná) de acordo com furos de sondagem entre Anhembi (SP) e Ortigueira (PR). In: MELO, J.H.G; TERRA, G.J.S. (ed.) **Correlação de seqüências Paleozóicas Sul-Americanas**: Ciência, Técnica, Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo, v. 20, p. 209-218. 2001.

Rohn, R.; Lourenço, A.T.A.; Meglhioratti, T. As formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto no furo de sondagem SP-23-PR (Permiano, Grupo Passa Dois, Borda Leste da Bacia do Paraná). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P & D EM PETRÓLEO e GÁS, 2., 2003, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: 2003. 1 cd.

Rohn, R; Morales, N. Pteridófilas e outros vegetais neopermianos permineralizados por sílica da Formação Teresina, em Piracicaba (SP). **An. Acad. Bras. Ci**., v. 69, n.. 2, p. 274. 1997.

Rohn, R. et al. Ocorrências de macrofitofósseis nas formações Teresina e Rio do Rasto (Permiano Superior da Bacia do Paraná) em Santa Catarina, Brasil. **Rev. Univ. Guarulhos**, v. 2, p. 49-57, 1997 a.

Rohn, R. et al. Ocorrências de macrofitofósseis nas formações Teresina e Rio do Rasto (Permiano Superior da Bacia do Paraná) na região de Cândido de Abreu-Reserva, Estado do Paraná, Brasil**. Rev. Univ. Guarulhos**, v. 2, p. 69-75, 1997b.

Rohn, R; Rösler, O. 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). **Bol. IG-USP**, São Paulo, n.. 17, p. 57-76, 1986.

Rohn, R; Rösler, O. Relações entre a flora permiana do Gondvana e as floras das províncias setentrionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 1987, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: 1987. v.2, p. 885-899.

Rohn, R; Rösler, O. Middle to Upper Permian Phytostratigraphy of the Eastern Paraná Basin. **Rev. Universidade Guarulhos-Geociência**, São Paulo, v.5, n. esp., p. 69-73, 2000.

Rohn, R; Stollhofen, H. The Permian age of the Passa Dois Group (Paraná Basin, Southern Brazil) re-affirmed. In: INTERNATIONAL GEOLOGIC CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Abstracts...** Rio de Janeiro, 2000. 1 cd..

Rohn, R.; Tognoli, F.M.; Meglhioratti, T. Icnogênero *Thalassinoides* na Formação Teresina (Grupo Passa Dois , Permiano, Bacia do Paraná), na região de Sapopema - Congoinhas (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2004, Araxá. **Resumos ...** Araxá: 2004. 1 cd..

Rösler, O. **Flora da Formação Rio Bonito do Estado do Paraná**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. 1972.

Rösler, O. Novas idéias sobre a evolução paleoflorística e paleoclimática no EoGondvana brasileiro. In: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO, 1., 1976, Santiago. **Actas...** Santiago: 1976 a. p. 83-94.

Rösler, O. Paleofloristc considerations based on the Upper Paleozoic tafofloras of the Paraná Basin (Brazil) in relation to the palaeogeographic studies. Frankfurt, Courier **Forschungsinstitut Senckenberg**, v. 17, p. 89, 1976 b.

Rösler, O. The Brazilian Eogondwanic floral succession. **Bol. IG-USP**, v. 9, p. 85-91,1978.

Rößler, R. The Late Paleozoic tree fern *Psaronius* – an ecosystem unto itself. **Rev. Palaeob. Palynol**, v. 108, p. 55-74, 2000.

Rößler, R. Studien zur Lebensweise und Fossilisation des Baumfarnes *Psaronius* im Versteinert Wald "von Chemnitz (Unterperm, Deutschland). Hallesches Jahrb. **Geowiss**, v. 23, p. 9-33, 2001.

Röβler., R. Non-marine Permian biostratigraphy and biochronology. **The Geological Society of London**, v.265, p. 39-63, 2006.

Rößler, R.; Galtier, J. First *Grammatopteris* tree ferns from the Southern Hemisphere - new insights in the evolution of the *Osmundaceae* from the Permian of Brasil**. Rev. Palaeob. Palynol**, v. 121, p. 205-230, 2002 a.

Rößler, R.; Galtier, J. *Dernbachia brasiliensis* gen. nov. et sp.nov - a new small tree fern from the Permian of NE Brazil**. Rev. Palaeob. Palynol**, v. 121, p. 239-263, 2002 b.

Rößler, R.; Galtier, J. The first evidence of the fern *Botryopteris* from the Permian of the Southern Hemisphere reflecting grouth form diversity. **Rev. Palaeob. Palynol,** v. 127, p. 99-124, 2003.

Rößler, R.; Noll, R. Der permische versteinerte Wald Von Araguaina/ Brasilien: Geologie, Taphonomie und Fossilfihrung. **Veröff. Mus. Naturk. Chemnitz**. v. 25, p. 5-44, 2002.

Roth-Nebelsick, A.; Uhl, D.; Mosbrugger, V.; Kerpa, A. Evolution and function of leaf venation architecture: A reweu**. Annals of Botany**, v. 87, p. 553-566, 2001.

Rothwell, G. W.; Blickle, A. H. *Psaronius Magnificus* n. comb., A marattialean fern from the Upper Pennsylvanian or North America. **Journal of Paleontology**, v. 56, n. 02, p. 459-468, 1982 a.

Rothwell, G. W.; Blickle, A. H. *Psaronius Magnificus* n. comb., A marattialean fern from the Upper Pennsylvanian or North America – Addendum. **Journal of Paleontology**, v. 56, n. 06, p. 1494-1496, 1982 b.

Runnegar, B.; Newell, N. D. Caspian-like relict molluscan fauna in the South American Permian. **Bull. Amer. Mus. Nar. History**, v. 146, n.1, p. 5-66, 1971.

Santos, R. V. et al. Absolute zircon dating of bentonic layers oh the Irati Formation. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais...**Aracaju: 2006. p.315.

Schneider, R.L. et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRODE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: 1974. p. 1-65.

Sharma, G. K.; Dunn, D. B. Effect of enviroment on the cuticular features in *Kalanchoë fedschenkoi.* **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, v. 95, p. 464-473, 1968.

Simões, M.G.; Rocha-Campos, A.C.; Anelli, L.E. Paleoecology and evolution of Permian pelecypod assemblages (Paraná Basin) from Brazil. In: Johnston, P.A.; Haggart, J. W. (Ed.) Bivalves **- An Eon of evolution:** Paleobiological studies honoring Norman D. Newell. Calgary, University of Calgary Press. 1998. p. 443-452.

Solms-Laubach, H. G. Z. *Tietea singularis*, ein neuer fossiler Pteridinenstamm aus Brasilien.- **Zeistschr. Botanik**, v. 5, n. 9, p. 673-700, 1913.

Sousa, S. H. M. **Fácies sedimentares das formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo**. 1985. 142 p. Disseração (Mestrado em Geologia) – Instituto Geológico. Universidade de São Paulo. 1985.

Sousa, S. H .M.; Suguio, K.; Castro, J.C. Sedimentary facies of the Estrada Nova and Corumbataí Formations (Late Paleozoic of the Paraná Basin) in the State of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL GONDVANA SYMPOSIUM, 7., 1991, São Paulo. **Proceedings…** São Paulo: 1991. p.161-172.

Souza, P. A. Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 138, p. 9-29, 2006.

Spicer, R. A. Phisiological characteristics of land plants in relation to enviroment through time. **Trans. Roy. Soc. Edinburgh (Earth Science)**, v. 80, p. 321-329, 1989.

Suguio, K.; Salati, E.; Barcelos, J. H. Calcários oolíticos de Taguaí (SP) e seu possível significado paleoambiental na deposição da Formação Estrada Nova. **Rev. Brás. Geoc**., v. 4, n. 3, p. 142-166, 1974.

Sttid, B. M.; Phillips, T. L. Basal stem anatomy of *Psaronius***. Am. J. Bot**., v. 55, p. 834-840, 1968.

Sttid, B. M. Morphology and anatomy af the frond *Psaronius*. **Palaeontographica B**. v. 134, p. 87-123, 1971.

Sttid, B. M. Evolutionary trends in the Marattiales**. Ann. Mo. Bot. Gard**., v. 61, p. 388-407, 1974.

Taylor, T. N.; Taylor, E. L. **The biology and evolution of fossil plants**. New Jersey: Prentice Hall, 1993. 982 p.

Teixeira, C. Contribuição para o conhecimento geológico do Karoo da África portuguesa. 1. Sobre a flora fóssil do Karoo da região de Tete (Moçambique). **Anais da Junta de Investigações Coloniais**, Lisboa, v. 2, n. 2, p. 7-48, 1947.

Toledo, C. E. V.; Brito, P. M. M.; Bertini, R. J. Chronological meaning about the presence of petalodonts (Holocephali *incertae sedis*) in the Corumbatai Formation (Upper Permian) near Rio Claro City, State of São Paulo (Brazil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 15., 1997, São Pedro. **Boletim de Resumos …** São Pedro: 1997. p. 159.

Toledo, C. E. V.; Bertini, R. J. Variações morfológicas em placas dentárias de dipnóicos, presentes na Formação Corumbataí, Permiano Superior da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., 1998, Rio Claro. **Resumo ...** Rio Claro: 1998. p. 93.

Toledo, C. E. V. **Análise Paleoictiológica da Formação Corumbataí na região de Rio Claro, Estado de São Paulo**. 2001. 1v. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

Vieira, C. E. L.; Iannuzzi, R. Presença de *Pecopteris* e A*sterohteca* no afloramento Morro Papaléo, Município de Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná). **Pesquisa em Geociências**, v. 27, n. 2, p. 49-64, 2000.

Vieira, C. E. L. **Frondes Pecoptrídeas da Formação Chutani (Grupo Titicaca, Altiplano Boliviano): Taxonomia, Correlação Bioestratigráfica e Paleoecologia**. 2000. 1 v. (Mestrado em Geociênias) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

Vieira, C. E. L.; Iannuzzi, R.; Guerra-Sommer, M. Primeiro registro de frondes férteis na Formação Pedra de Fogo, Neopermiano da Bacia do Parnaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 18., 2003, Brasília. **Boletim de Resumos ...** Brasília: 2003. p.313.

Vieira, C. E. L. et al. Permian plants from the Chutani Formation (Titicaca Group, northern Altiplano of Bolívia): I. Genera *Pecopteris* and *Asterotheca*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 76, n.1, p. 117-128, 2004.

Vieira, C. E. L. **Taxonomia, Paleoecologia e Paleofitogeografia de frondes Pecopterídeas do Neopaleozóico da América do Sul**. 2004. 1 v. (Doutorado em Geociênias) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

Wagner, R. H.; Hill, C. R.; El-Khayal, A. A. *Gemellitheca* gen. nov., a fertile pecopterid fern from the upper Permian of the Middle East. **Scripta Geol**., v. 79, p. 51-74, 1985.

Wardlaw, B. R. et al. The Permian Period. In: Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Smith, A. G. (Ed.) **A Geological Time Scale 2004**. Cambridge University Press, 2004. p. 249- 270.

Watson, R.W. The effect of cuticular hardening on the form of epidermal cells. **New Phytologist**, v. 41, p. 223-229, 1942.

Wilkinson, H. P. The plant surface (mainly leaf). In: Metcalf, C. R.; Chalk, I. **Anatomy of the Dicotyledons**. Oxford University Press, 1979. v.1., p. 97-165.

Yoshida, R. Novo gênero de conífera da Formação Estrada Nova, norte do Estado de Santa Catarina. **Bol. DNPM-DGM**, Rio de Janeiro, n. 249, p. 17, 1970.

Zalán, P. V. et al. A. Bacia do Paraná. In: Raja Gabaglia, G. P.; Milani, E. J. (Coord). **Origem e evolução das Bacias Sedimantares**: Petrobrás, 1990. p. 135-138.

Zhifeng, G.; Thomas, B. A. Anew fern from the lower Permian of China and its bearing on the evolution of the Marattialeans. **Paleontology**, v. 36, n. 1, p. 81-89, 1993.