

Caules permineralizados de *Tietea* e *Psaronius* na Bacia do Paraná (Formação Corumbataí, Permiano)

Tatiane Marinho Vieira TAVARES¹, Rosemarie ROHN¹ & Sheila MERLOTTI²

¹Departamento de Geologia Aplicada, IGCE, UNESP, Caixa Postal 178, 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil. E-mails: tatipaleo@yahoo.com.br; rohn@rc.unesp.br

²Departamento de Botânica, Centro de Ciências Biológicas, UFSC, Campus Universitário, Trindade. CEP: 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: sheilamerlotti@hotmail.com

Recebido em 01/2010. Aceito para publicação em 08/2011.

Versão online publicada em 11/06/2012 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - Foram analisados fragmentos de caules permineralizados por sílica de filicíneas arborescentes, procedentes de seis municípios do estado de São Paulo, pertencentes ao Grupo Passa Dois, Formação Corumbataí (Guadalupiano, Permiano). Características morfo-anatômicas principalmente dos estelos, observadas em lâminas petrográficas e/ou superfícies polidas dos caules, contribuíram na classificação de diversos exemplares como *Tietea* cf. *Tietea singularis*. Um exemplar de Casa Branca, determinado como *Psaronius* cf. *Psaronius arrojadoi*, corresponde ao primeiro registro seguro do gênero para a Bacia do Paraná. Não foi possível a identificação genérica/específica das amostras que apresentam apenas os mantos radiculares preservados. Ainda que os fatores tafonômicos tenham influenciado no registroossilífero, todos os fósseis conhecidos de Marattiales da Bacia do Paraná na porção brasileira exibem estelos e meristelos relativamente pequenos, o que pode sugerir estresse hídrico. São também discutidos aspectos tafonômicos, paleoecológicos e paleobiogeográficos dos fósseis analisados.

Palavras-chave: Bacia do Paraná, Permiano, filicíneas, Marattiales, *Tietea*, *Psaronius*

Abstract - PERMINERALIZED STEMS OF TIETEA AND PSARONIUS OF THE PARANÁ BASIN, CORUMBATAÍ FORMATION, PERMIAN. Silica permineralized stem fragments from six municipalities of São Paulo, Brazil, belonging to the Passa Dois Group, Corumbataí Formation (Guadalupian, Permian), were analysed. Morpho-anatomic characteristics of the stems and steles, observed on petrographic slides or polished sections, have permitted the classification of many specimens as *Tietea* cf. *Tietea singularis*. A stem piece from the region of Casa Branca, determined as *Psaronius* cf. *Psaronius arrojadoi*, corresponds to the first true record of this genus in the Paraná Basin. A generic/specific identification was not possible for radicular mantle samples having no preserved steles. Despite the strong influence of taphonomic factors on the record, all known Marattiales fossils from the Paraná Basin in Brazil present relatively small steles and meristemes, and that may be related to hydric stress. Taphonomic, paleoecological and biogeographical aspects of the analysed fossils are discussed as well.

Key words: Paraná Basin, Permian, ferns, Marattiales, *Tietea*, *Psaronius*

1. Introdução

Caules de filicíneas ou fetos arborescentes permineralizados, atribuídos a Marattiales, são relativamente raros na Bacia do Paraná. Os principais registros provêm da Formação Corumbataí (Permiano Superior, Grupo Passa Dois), com raros relatos na Formação Tatuí (Permiano Inferior, Grupo Guatá), estando essas formações localizadas no estado de São Paulo, e a primeira, com unidades coevas nos estados da região sul, ou de depósitos permianos do Paraguai e Uruguai (Derby, 1913, 1915; Solms-Laubach, 1913; Maniero, 1954; Herbst, 1975, 1986, 1987; Nehls, 2004; Chahud & Petri, 2009). Existem também relatos de impressões de cicatrizes foliares dos

gêneros *Caulopteris* e *Artisophyton* na Argentina, ambos gêneros classicamente associados aos caules de *Psaronius* (Pfefferkorn, 1976; Cúneo & Archangelsky, 1987). *A priori*, apenas *Tietea singularis* foi formalmente descrita na Bacia do Paraná em porções brasileiras (Solms-Laubach, 1913; Derby, 1915; Herbst, 1986).

O presente trabalho descreve caules de filicíneas permineralizados por sílica dos municípios de Rio Claro, Fartura, Paranapanema, Conchas, Piracicaba e Casa Branca, localizados no estado de São Paulo, e busca aprimorar as descrições morfo-anatômicas de *Tietea*. Além disso, apresenta-se formalmente o primeiro registro de *Psaronius* na Bacia do Paraná. São também discutidos aspectos tafonômicos, paleo-

ecológicos e paleobiogeográficos dos fósseis analisados.

Todos os caules de Marattiales do Permiano do Brasil podem ser incluídos nos gêneros *Tietea* ou *Psaronius* e ocorrem nas bacias do Paraná e Parnaíba. Na Bacia do Paraná, as Marattiales restringem-se à Formação Tatuí, no estado de São Paulo, à Formação Corumbataí, nos estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso, ou à Formação Teresina, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Solms-Laubach, 1913; Derby, 1913, 1915; Maniero, 1954; Herbst, 1975, 1986, 1987; Nehls, 2004; Chahud & Petri, 2009). Outra designação usada por alguns autores para o intervalo que inclui as formações Corumbataí e Teresina é “Formação Estrada Nova”. Na Bacia do Parnaíba, onde as Marattiales são muito mais abundantes, a unidade estratigráfica que contém esses fósseis corresponde provavelmente à Formação Motuca (Pinto & Sad, 1986; Dias-Brito *et al.*, 2007), porém muitos trabalhos têm tradicionalmente referido os caules à Formação Pedra de Fogo (Dolianiti, 1962, 1972; Faria Jr. & Truckenbrodt, 1980; Coimbra & Mussa, 1984; Mussa & Coimbra, 1987; Góes & Feijó, 1994).

Salienta-se que *Tietea* parece ser um gênero encontrado no Brasil e Paraguai (Solms-Laubach, 1913; Herbst, 1979, 1986). Ao contrário, o gênero *Psaronius*, introduzido para caules permineralizados da Alemanha, distribui-se amplamente nas províncias florísticas permocarboníferas da Euramerica, Cataísia e Gondwana, o que propiciou um conhecimento minucioso sobre sua morfologia, anatomia, ontogenia e ecologia.

O primeiro registro de *Tietea* provém do município de Tietê, Estado de São Paulo, através da descrição da espécie *T. singularis* Solms-Laubach (1913). Posteriormente, Herbst (1986) identificou essa espécie em Santa Catarina, Tocantins e Maranhão, tendo proposto uma emenda ao gênero e à espécie.

Os principais trabalhos adicionais sobre caules de Marattiales das formações Corumbataí e Teresina foram realizados por Derby (1913, 1915), Maniero (1954) e Nehls (2004). O último autor atribuiu um fragmento de manto radicular a *Psaronius* sp., porém as características das raízes adventícias, na realidade, são insuficientes para a sua identificação no âmbito genérico. *A priori*, caules permineralizados de filicíneas com estelos preservados são raros nas formações Teresina e Corumbataí e, portanto, pouco conhecidos. Nehls (2004) também reconheceu a primeira associação de Marattiales com epífitas da Bacia do Paraná.

As Marattiales também são registradas em áreas da Bacia do Paraná no Paraguai, Uruguai e Argentina. No Paraguai, Herbst (1975) descreveu dois espécimes de caules, os quais denominou apenas como “*filices psaroniaceae* 1 e 2”, um exemplar procede de Colônia Independência e o outro de uma localidade situada a leste de Caaguazú. Herbst (1979) relatou possível presença de *Tietea* no Paraguai.

Herbst (1987) propôs a espécie *Tuvichapteris solmsi* para novos exemplares do Uruguai e do Paraguai. Aqueles do Uruguai foram coletados na Formação Yaguari, que é correlacionada às fácies Caveira (inferior) e Armada (superior) da Formação Estrada Nova do Rio Grande do Sul (Herbst, 1987). Os exemplares do Paraguai foram encontrados na Formação Independência, junto a depósitos com a “fauna” *Pinzonella neotropica*, a qual é típica da parte superior das formações Teresina ou Corumbataí no Brasil.

Na Argentina, Cúneo & Archangelsky (1987) descreveram impressões de cicatrizes foliares de samambaias atribuídos aos gêneros *Caulopteris* e *Artisophyton* em camadas da Formação Rio Genoa, na biozona *Nothorhacopteris chubutiana*.

Para a Bacia do Parnaíba, o registro de caules de filicíneas parece ser mais significativo em termos de espécies e quantidade de fósseis. A primeira descrição formal de *Psaronius* deve-se a Brongniart (1872), quando propôs *Psaronius brasiliensis*. A procedência exata do holótipo parece ser um tanto incerta: Dolianiti (1948) mencionou que a mesma seria proveniente da região entre os municípios de Oeiros e São Gonzalo do Amarante, no estado do Piauí. Porém, Morgan (1959) afirmou que seria seguramente da Chapada do Jaboti, no estado do Maranhão. Outras espécies descritas para a Bacia do Parnaíba são: *Psaronius arrojadoi* Pelourde, 1914, citada também por Derby (1915) e Herbst (1985), *Tietea derbyi* Herbst, 1992, *Psaronius sinuosos* Herbst, 1999, e *Psaronius* sp. citado em Herbst (1999). Herbst (1985) salientou ainda a possibilidade de *P. arrojadoi* corresponder à porção distal de *P. brasiliensis*.

Concluindo, a única espécie anteriormente descrita para a Bacia do Paraná, no Brasil, e que pode ser considerada válida é *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986. Deste modo, os outros exemplares descritos baseiam-se em fragmentos de mantos radiculares permineralizados, faltando a caracterização dos estelos.

2. Material e métodos

As 19 amostras de Marattiales aqui descritas, com as respectivas procedências, são informadas a seguir conforme a coleção paleontológica da instituição a que pertencem:

Coleção do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Rio Claro: Museu de Paleontologia e Estratigrafia Professor Paulo Milton Barbosa Landim: Amostras URC PT 76

(2 lâminas), URC PT 77 (2 lâminas), URC PT 78 (5 lâminas), URC PT 79 (4 lâminas), URC PT 80, URC PT 81 (2 lâminas), URC PT 82 (2 lâminas), URC PT 83 (2 lâminas), todas da região de Bata-lha, no Município de Rio Claro. Entre estes caules, as amostras URC PT 76, 77, 81, 82 e 83 foram coletadas pelas duas primeiras autoras, em 2006, correspondendo às únicas com procedência perfeitamente conhecida (Fig. 1). As lâminas citadas acima têm a mesma numeração dos espécimes que as representam.

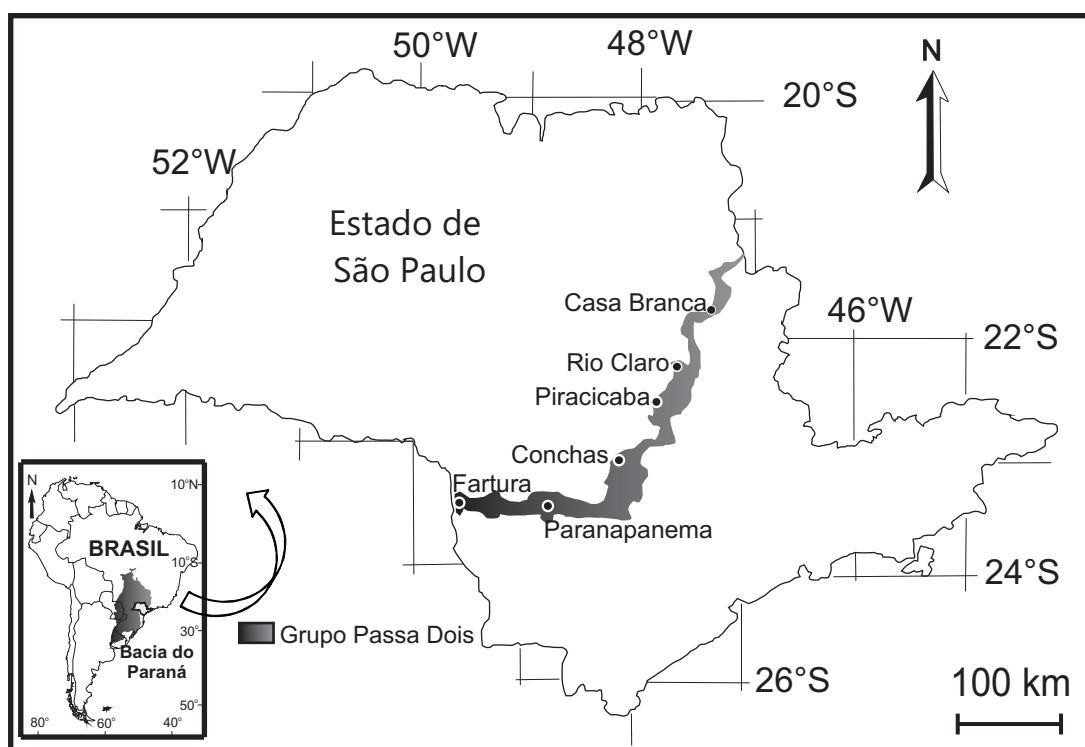


Figura1. Localização da área aflorante do Grupo Passa Dois e dos seis municípios onde os fragmentos de caules foram encontrados no estado de São Paulo.

Coleção do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de São Paulo (USP): Cinco fragmentos de caules coletados na região de Fartura, dos quais IG/USP-GP/3E-289, IG/USP-GP/3E-298 e IG/USP-GP/3E-7474 foram coletados às margens da Represa Xavantes (correspondendo respectivamente às lâminas - GP/L-3T 484 a, b, c; GP/L-3T 481 a, b; GP/L-3T 485 a, b); os demais fragmentos de caules são: IG/USP-GP/3E-299, IG/USP-GP/3E-290 (lâminas - GP/L-3T 482 a, b; GP/L-3T 483 a, b). Há um fragmento sem indicação da localidade de coleta, numerado como VI-49-69 (lâmina - GP/L-3T 408 a, b) (Fig. 1).

Coleção do Instituto Geológico (IG) da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) do Governo do Estado de São Paulo: Amostra "278 v" de

Paranapanema, amostra "6" de Conchas, amostra "46 v" de Piracicaba, amostra "4" de Casa Branca e amostra "93 v" de Rio Claro (Fig. 1).

Os caules foram fotografados com câmera Nikon em diversas posições. No Laboratório de Laminação do IGCE/UNESP, alguns caules foram seccionados transversal e longitudinalmente e deu-se início ao polimento em politriz usando carborundum 500. Em empresa particular, o polimento foi concluído com equipamento Bosch. Também no Laboratório de Laminação, foram preparadas lâminas petrográficas com a espessura padrão (30 μ m).

As lâminas foram examinadas no microscópio biológico Zeiss ICs Standart 25 e os dados morfométricos foram obtidos com escala micro-

métrica acoplada à ocular. As superfícies polidas foram examinadas com estereomicroscópio Leica Mz8. As micrografias foram obtidas com câmera digital Cannon, que pode ser acoplada tanto ao microscópio biológico quanto ao estereomicroscópio.

A nomenclatura usada para os espécimes obedece aos trabalhos de Rothwell & Blicke (1982b), Mickle (1984), Herbst (1985, 1986, 1992).

3. Sistemática paleontológica

Classe Filicophyta
Ordem Marattiales
Família Psaroniaceae (Unger) Herbst, 1986

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
(Figuras 2 e 3; Tabela 1)

Amostras e procedência: URC PT- 76 a URC PT- 80 - Rio Claro, localidade Batalha, IG/USP-GP/3E-289 - às margens da Represa Xavantes, SW de Fartura.

Lâminas: URC PT 76 (2 lâminas), URC PT 77 (2 lâminas), URC PT 78 (5 lâminas), URC PT 79 (4 lâminas), GP/L-3T 484 a, b, c.

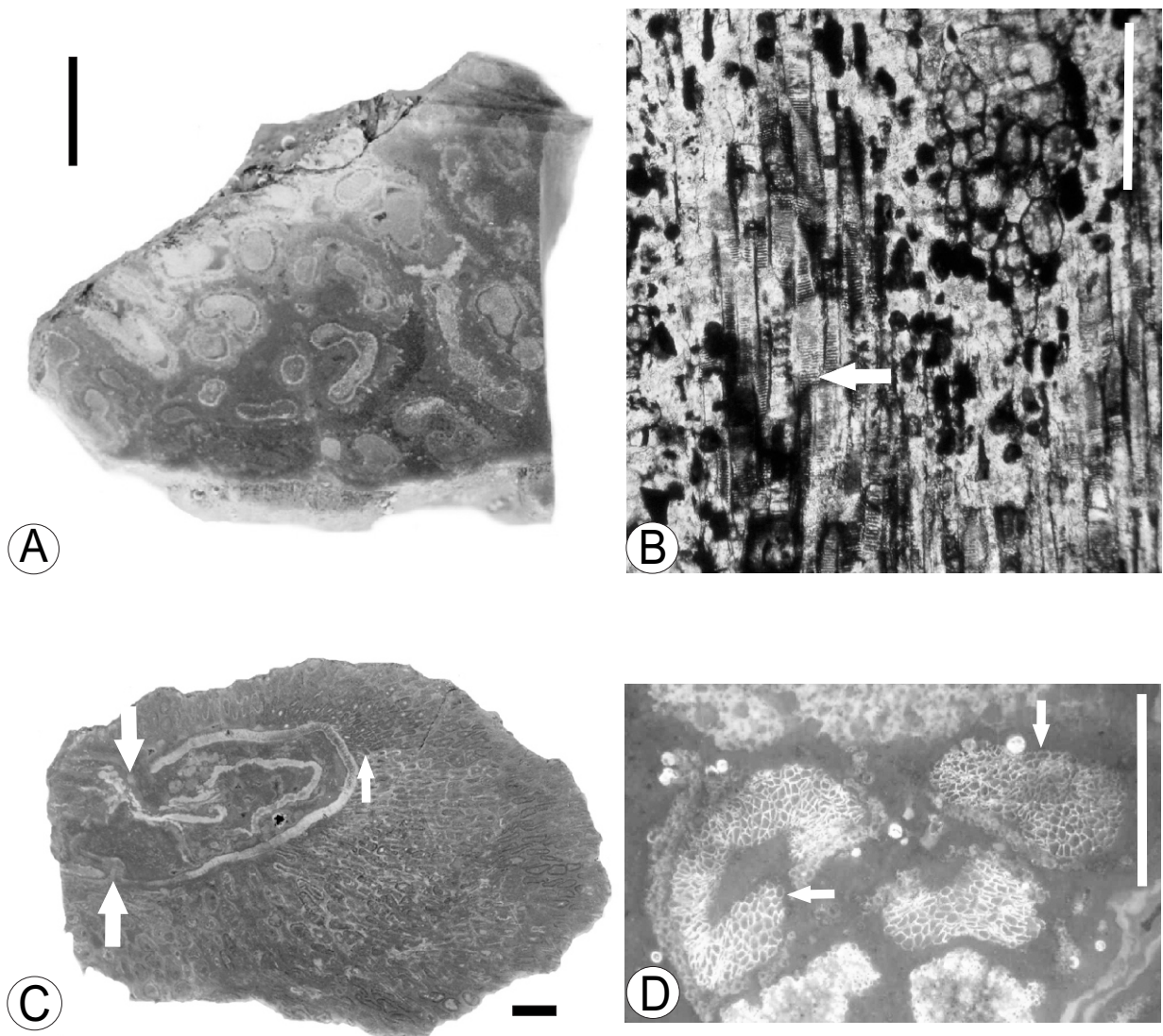


Figura 2. *Tietea* cf. *Tietea singularis*. A. URC PT 77, vista transversal da porção do estelo, escala = 10 mm; B. Seção longitudinal mostrando traqueídes com espessamentos escalariformes (seta) de um meristelo, escala = 500 µm; C. URC PT 78, vista do corte transversal do caule com interrupções no anel esclerenquimático do estelo (setas grandes) e radículas comprimidas lateralmente (seta pequena), escala = 10 mm; D. Detalhe dos meristelos com o metaxilema evidente (setas), escala = 3 mm.

Descrição: Todos os exemplares analisados estão permineralizados por sílica. Algumas amostras (URC PT- 76, URC PT- 77 e URC PT- 79) são constituídas apenas por uma porção do estelo (Fig. 2A). As demais (URC PT- 78, URC PT- 80 e IG/USP-GP/3E-289) apresentam um manto radicular circundando o estelo (Figs. 2C, 3A). Os exemplares exibem formas e tamanhos variados conforme o estado de preservação. Os espécimes mais informativos são descritos em detalhe. O espécime URC PT- 77 é um pequeno fragmento irregular de estelo, cujas dimensões encontram-se na tabela 1. Não houve preservação de parênquima. Os meristelos são circulares com diâmetro de 2,0 mm a 3,0 mm ou em forma de C, com comprimento de 4,0 mm a 12,0 mm e largura de 1,0 mm a 2,0 mm (Fig. 2A). O protoxilema e metaxilema têm células circulares a poligonais. O primeiro exibe diâmetro de 30,0 μ m a 40,0 μ m, e o segundo de 100,0 μ m a 120,0 μ m. Longitudinalmente não foi possível estimar o comprimento dos traqueídes do protoxilema e metaxilema, sendo seus espessamentos, possivelmente, do tipo escalariforme (Fig. 2B). O exemplar URC PT- 78 (Fig. 2C) tem o maior comprimento, alcançando 11,0 cm; este encontra-se ligeiramente achatado com aspecto elipsoidal em seção transversal, cujos eixos do caule são 8,0 cm e 11,0 cm. Nesse exemplar, o manto radicular e estelo são nítidos, mas poucas descrições histológicas foram feitas devido a má preservação celular. A espessura do manto radicular varia entre 1,0 cm a 6,0 cm, estando as radículas alinhadas radialmente. Transversalmente, são circulares ou ovais com diâmetro de 2,0 mm a 6,0 mm e, quando próximas ao estelo, adquirem forma alongada e lateralmente comprimida. O estelo está limitado do manto radicular por anel esclerenquimático que apresenta largura entre 1,0 mm a 2,0 mm; a má preservação das células impede a contagem dos estratos celulares que o compõe. Observa-se que o anel está interrompido em algumas regiões, não sendo possível, porém, avaliar se as interrupções correspondem à emissão de traços foliares (Fig. 2C). Internamente ao anel, encontram-se também meristelos circulares e em forma de C, com diâmetro de 4,0 mm a 6,0 mm. Eles são constituídos por metaxilema, o protoxilema não foi visto. O metaxilema possui células geralmente circulares a poligonais, com diâmetro de 30,0 μ m a 140,0 μ m (Fig. 2D). Aparentemente, não foram observados ductos resiníferos. Faixas de esclerenquima não contínuas com largura de 1,0 mm a 2,0 mm estão presentes no estelo. Verifica-se a passagem de uma radícula da periferia do estelo

em direção ao manto radicular. Este é o único caso, em seção transversal, que se presencia a preservação do protoxilema e metaxilema da radícula neste exemplar. O protoxilema é pentarco com diâmetro entre 20,0 μ m a 50,0 μ m, e o diâmetro do metaxilema varia de 40,0 μ m a 100,0 μ m. Os traqueídes do protoxilema e metaxilema das radículas e meristelos não foram identificados em seção longitudinal. O exemplar IG/USP-GP/3E-289 exibe um manto radicular delgado, sendo representado quase que inteiramente por estelo (Fig. 3A). O manto de raízes consiste numa camada de radículas imersas em parênquima cortical. As células parenquimáticas corticais, em seção transversal, apresentam-se sob duas formas: as próximas aos anéis são pequenas e circulares, com diâmetro de 61,0 μ m a 112,0 μ m (\bar{x} =95,0 μ m) e as mais distantes são maiores, alongadas e retangulares, com comprimento de 100,0 μ m a 200,0 μ m e largura de 40,0 μ m a 60,0 μ m (Figura 3C). As radículas são actinostélicas e estão alinhadas radialmente. Transversalmente, são circulares ou ovais com diâmetro menor entre 0,8 mm e 5,0 mm (\bar{x} =2,6 mm) e diâmetro maior entre 3,0 mm e 7,0 mm (\bar{x} =7,0 mm) ou alongadas e lateralmente comprimidas. As radículas são contornadas por anel esclerenquimático de largura variável (260,0 μ m - 535,0 μ m; \bar{x} =403,0 μ m), conforme o grau de preservação das células, e que apresentam, geralmente, de uma a três interrupções. Longitudinalmente, não foi possível identificar o tipo de esclerenquima. 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 μ m a 123,0 μ m (\bar{x} =87,0 μ m) e diâmetro menor de 40,0 μ m a 92,0 μ m (\bar{x} =59,0 μ m) (Fig. 3C). O xilema primário, mais raramente localizado na periferia do anel esclerenquimático (Fig. 3D) ou não preservado, constitui-se, transversalmente, por três, quatro, cinco ou seis grupos de protoxilema. Cada grupo de protoxilema contém três a sete traqueídes circulares e pequenos, com diâmetro de 42,0 μ m a 62,0 μ m (\bar{x} =62,0 μ m). O metaxilema possui traqueídes circulares a poligonais com diâmetro de 81,6 μ m a 158,0 μ m (\bar{x} =123,0 μ m). Longitudinalmente, os traqueídes não tiveram o espessamento preservado. O estelo está limitado do manto radicular por anel esclerenquimático que apresenta largura entre 1,0 mm a 2,0 mm. Internamente ao anel, o estelo exibe células parenquimáticas homogêneas, nas quais os meristelos estão imersos. Estes são circulares a levemente comprimidos com diâmetro

entre 1,0 mm a 3,0 mm. Apenas o metaxilema foi identificado nos meristelos, com células circulares a poligonais, cujo diâmetro pode variar entre 20,0 μm a 160,0 μm . Existem também faixas de células esclerenquimáticas presentes no estelo deste exemplar, o mesmo ocorre com o espécime URC PT- 78. As células, em seção transversal, são circulares a poligonais, de paredes espessas, com diâmetro de 10,0 μm a 90,0 μm . A faixa não é contínua e a largura é variável, às

vezes delgada (0,5 mm), às vezes espessa (0,8 mm). Verifica-se a passagem de radículas da periferia do estelo em direção ao manto radicular (Fig. 3B). Não foi identificado em seção longitudinal o tipo de espessamento dos traqueídes dos meristelos. Em nenhum exemplar floema e periciclo encontram-se preservados. As dimensões das estruturas anatômicas das amostras descritas estão sumarizadas na tabela 1.

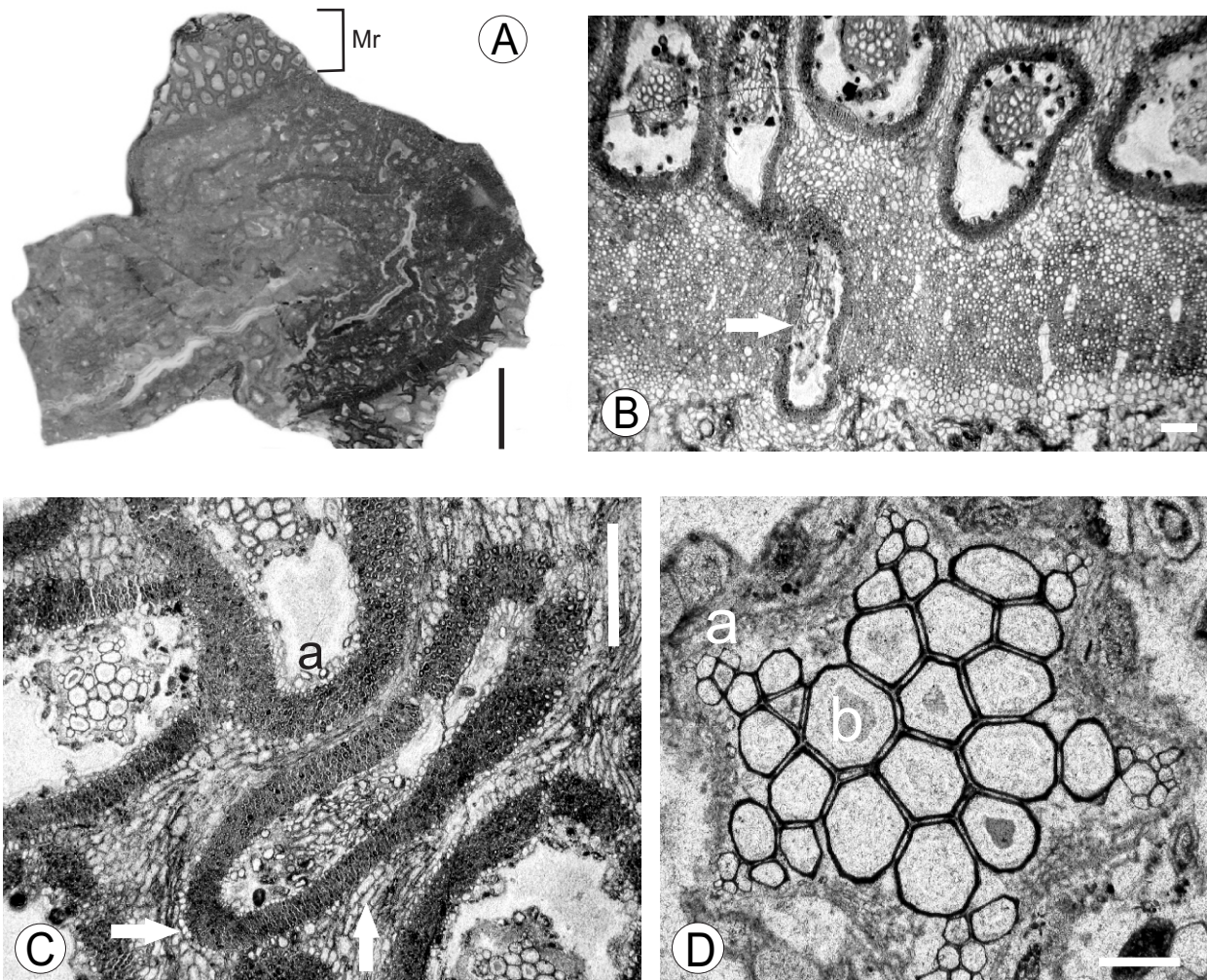


Figura 3. *Tietea* cf. *Tietea singularis*. A. IG/USP-GP/3E-289, vista transversal do estelo e manto radicular (Mr), escala = 10 mm; B. Seção transversal indicando a passagem de uma radícula do estelo para o manto radicular (seta), escala = 1 mm; C. Detalhe do manto radicular, as células do parênquima cortical exibem forma retangular e circular (setas) próximo ao anel esclerenquimático, existem poucas células parenquimáticas preservadas (a) no interior do anel esclerenquimático, escala = 1 mm; D. Seção transversal do protoxilema (a) e metaxilema (b) do actinostelo de uma radícula, escala = 200 μm .

Tabela 1. Dimensões das estruturas anatômicas dos exemplares atribuídos à *Tietea* cf. *Tietea singularis*. Algumas das estruturas não exibem diâmetro perfeito (\emptyset), sendo apresentados os eixos maiores e menores, obtidos nas seções transversais. Manto rad.-manto radicular, Cc- comprimento do caule, Dc- diâmetro do caule, N° orto.- número de ortósticas, Dm- diâmetro do meristelo, Trç. foliar- traço foliar, Dr- diâmetro da radícula, Gprx- grupos de protoxilema.

Amostras	URC PT					IG/USP GP-3E-289
	76	77	78	79	80	
Manto rad. (cm)	Ausente	Ausente	1,0-6,0	Ausente	1,5-6,0	1,0
Estelo (cm)	4,0x3,0 I*	4,0x3,3 I*	5,5x3,0 I*	9,3x4,5 I*	2,2x2,8 I*	5,0x3,5 I*
Cc (cm)	3,5	4,0	11,0	5,0	8,0	3,0
Dc (cm)	3,0x4,0 I*	5,0x4,0 I*	11,0x8,0 I*	9,0x4,0 I*	8,5x8,0 I*	5,0x4,5 I*
N° orto.	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Dm (mm)	2,0-3,0 \emptyset	2,0-3,0 \emptyset /4,0x1,0; 12,0x2,0	4,0-6,0 \emptyset	6,0x3,0; 12,0x4,0	4,0x1,0; 5,0x3,0	1,0-3,0 \emptyset
Trç. foliar	Ausente	Ausente	?	Ausente	?	Ausente
Dr (mm)	Ausente	Ausente	2,0-6,0 \emptyset	Ausente	3,0x1,0; 5,0x2,0	0,8;3,0;5,0;7,0
Gprx	Ausente	Ausente	5	Ausente	Ausente	3-6

I*-incompleto

Discussão: Os exemplares analisados exibem grande semelhança a *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913, emend. Herbst, 1986, por apresentarem, geralmente, meristelos de formas circulares, ovais ou em forma de C e pela aparente ausência de organização dos mesmos 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. Os fragmentos devem corresponder a porções relativamente proximais de caules por apresentarem meristelos reduzidos e sem organização aparente. Anatomicamente, os traqueídes do metaxilema dos meristelos exibem espessamentos escalariformes. Diferentemente de *Psaronius*, o gênero *Tietea* ainda não foi descrito adequadamente quanto à sua ontogenia, dificultando a verificação de variações anatômicas conforme os estágios ontogenéticos ao longo do caule. Contudo, os exemplares estudados não podem ser considerados seguramente como

Tietea singularis por não preservarem traços foliares polimeristólicos e número de ortósticas. 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 polimeristólicos e ausência de organização dos meristelos no caule. A diferença entre as duas espécies consiste, basicamente, no número de ortósticas, ou seja, o número e a disposição de frondes que emergem do caule, que são quatro em *Tietea singularis* e seis em *Tuvichapteris solmsi*. Porém, segundo Morgan (1959), Rothwell & Blickle (1982b) 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. Em vista do número relativamente limitado de amostras analisadas e do estado fragmentário dos caules, os exemplares são classificados como *Tietea* cf. *T. singularis*.

Gênero *Psaronius* Cotta, 1832

Espécie-tipo: *Psaronius helmintholithus* Cotta, 1832

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

Amostra e procedência: IG/SMA-4-Município de Casa Branca.

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 (Fig. 4). O exemplar não possui tecidos parenquimáticos, esclerenquimáticos ou xilemáticos preservados.

Devido à não preservação do anel esclerenquimático, não há uma nítida individualização do estelo. Transversalmente, os meristelos são longos, irregularmente sinuosos e dispostos aproximadamente de forma concêntrica em torno do eixo central do caule, com largura variando de 0,5 mm a 3,0 mm. A região periférica do exemplar tem estruturas de difícil interpretação, que poderiam, possivelmente, corresponder à emissão de traços foliares, porém, os detalhes não foram suficientemente preservados. Tendo em vista o valor histórico da amostra estudada, coletada por O. A. Derby, em 1946, não puderam ser realizados cortes, nem confeccionadas lâminas petrográficas, faltando, conseqüentemente, análises anatômicas detalhadas.

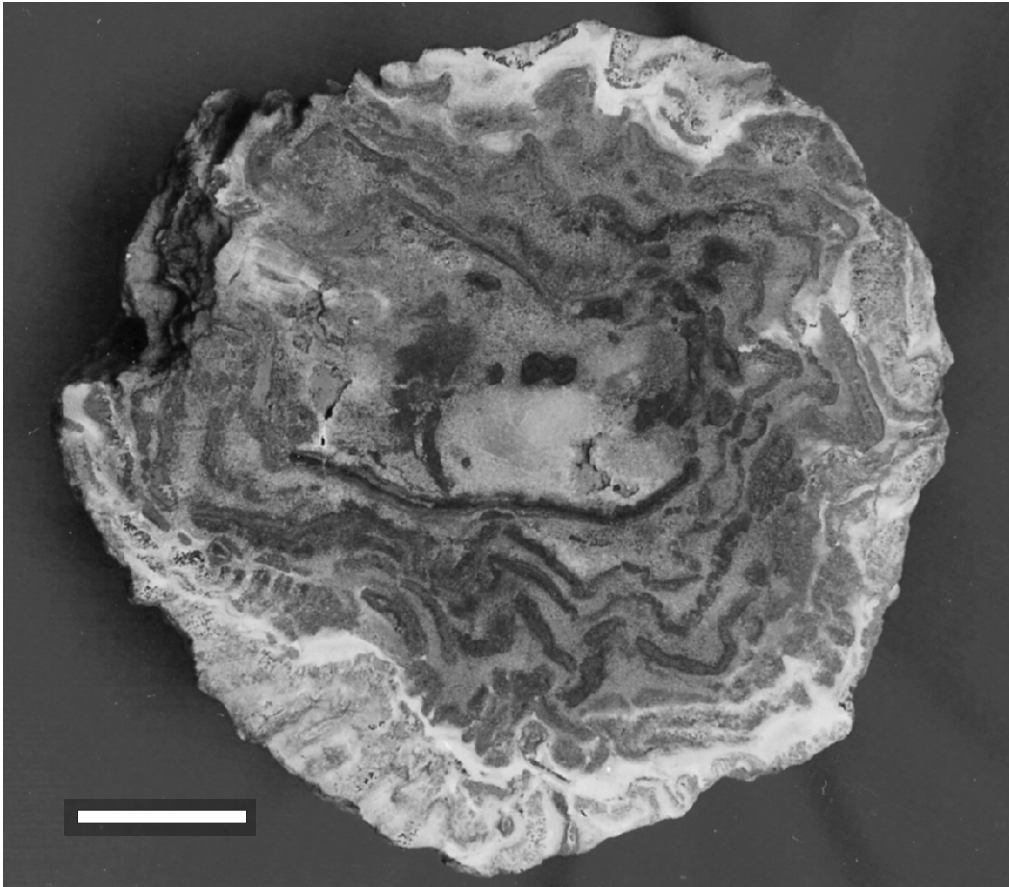


Figura 4. *Psaronius* cf. *Psaronius arrojadoi*. A. IG/SMA-4, vista de corte transversal do estelo, contendo meristelos com várias formas, escala = 10 mm.

Discussão: O exemplar aqui analisado assemelha-se a *Psaronius arrojadoi* Pelourde, 1914 emend. Herbst, 1985, por apresentar meristelos centrais desorganizados e meristelos distais longos e irregularmente sinuosos. 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

longos sem as extremidades levemente encurvadas. Ressalta-se que Herbst (1986), ao realizar a emenda da diagnose de *Psaronius arrojadoi*, observou sua extrema semelhança à *Psaronius brasiliensis* e, através de esquemas, procurou explicar o desenvolvimento dos meristelos e sua organização no estelo. Tal explanação fundamenta-se nas descrições minuciosas do desenvolvimento ontogenético al-

cançado por Morgan (1959) para os *Psaronius* da América do Norte. O precário estado de preservação do exemplar analisado impossibilita comparações detalhadas com outras espécies. Apesar disso, é possível assinalar o espécime aqui estudado ao gênero *Psaronius* com base na morfologia estelar que exibe um dictiostelo policíclico e na morfologia meristelar (Morgan, 1959; Mickle, 1984). Conforme já comentado, o exemplar de Santa Catarina, descrito por Nehls (2004), não possui características diagnósticas significativas para a sua inclusão em *Psaronius*. Desta forma, o exemplar de Casa Branca, aqui descrito, é o único representante do gênero até o momento conhecido na Bacia do Paraná.

Gen. et sp. indet.
(Figura 5; Tabela 2)

Amostras e procedência: IG/SMA-46v, Piracicaba, IG/SMA-6, Conchas, IG/SMA-278v, Paranapanema, IG/SMA-93v, Rio Claro, IG/USP-VI-49-6, IG/USP-GP/3E-290, 298, 299 e 7474, Fartura, URC PT- 81, 82, 83, Rio Claro.

Lâminas: GP/L-3T 480 a, b; GP/L-3T 481 a, b; GP/L-3T 482 a, b; GP/L-3T 483 a, b, GP/L-3T 485 a, b; URC PT 81 (2 lâminas), URC PT 82 (2 lâminas), URC PT 83 (2 lâminas).

Descrição: Todos os fragmentos estão permineralizados. As amostras são representadas por mantos radiculares (Fig. 5A), havendo também um estelo comprimido nas amostras IG/SMA-278v, URC PT- 81 (Fig. 5D), e um estelo mal preservado na amostra URC PT- 83. Devido à preservação inadequada do estelo, tais amostras puderam ser descritas apenas quanto ao manto radicular. O espécime IG/USP-GP/3E-290 é o único que exibe as células do manto radicular bem preservadas (Fig. 5A). Este exemplar fragmentado e irregular tem comprimento de 2,0 cm, e as demais medidas em seção transversal encontram-se na tabela 2. O manto de raízes consiste numa camada de radículas imersas em parênquima cortical (Fig. 5B). As radículas destacam-se pelo contorno de coloração escura (Fig. 5A-B). 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 a 68,0 μm (\bar{X} =54,0 μm), as mais distantes são alongadas, retangulares e maiores, com comprimento de 70,0 μm a 200,0 μm e largura de 20,0 μm a 60,0 μm (Fig. 5B). As radículas são contornadas por anel esclerenquimático que, em corte transversal, exibem de uma a duas interrupções (Fig. 5B). A

largura do anel é variável e depende do grau de preservação das células, compreendendo, em média, 0,1 mm a 0,3 mm. As células esclerenquimáticas possuem forma circular a poligonal em seção transversal, com diâmetro entre 5,0 μm a 50,0 μm . As radículas são actinostélicas e estão lateralmente comprimidas, com o eixo maior variando de 2,45 mm a 4,7 mm e o menor de 0,5 mm a 2,0 mm (Fig. 5B). No interior dos anéis existem poucas células parenquimáticas intracorticais preservadas, com forma geralmente circular e diâmetro entre 28,0 μm a 68,0 μm . O xilema primário que se localiza centralmente; em alguns casos, encontra-se na extremidade do anel, talvez devido à compressão lateral do mesmo (Fig. 5B); em outros exemplares não se preservou. Em corte transversal, o xilema primário é actinostélico com o protoxilema pentarco (Fig. 5C). O protoxilema em corte transversal tem traqueídes circulares e pequenos, com diâmetro médio de 55,0 μm (39,0 μm - 90,0 μm) (Fig. 5C). O metaxilema em corte transversal possui geralmente 24 traqueídes circulares a poligonais com diâmetro médio de 123,0 μm (81,6 μm - 158,0 μm) (Fig. 5C). Longitudinalmente, os traqueídes do protoxilema e metaxilema têm espessamentos escalariformes; o comprimento não pôde ser determinado. As descrições histológicas em seção transversal do exemplar URC PT- 81 não foram feitas, já que as células não estão preservadas. Este espécime exibe um manto radicular delgado, com umas poucas radículas circulares de diâmetro entre 1,0 mm e 4,0 mm (Fig. 5D). O anel esclerenquimático que as envolve exibe largura de 0,5 mm a 1,0 mm. Em seção longitudinal, as únicas estruturas pobremente identificáveis são os traqueídes dos meristelos, que exibem aparentemente espessamento escalariforme (Fig. 5F). Observa-se a passagem de radículas do estelo para o manto radicular (Fig. 5E). As dimensões das feições anatômicas dos exemplares descritos encontram-se na tabela 2.

Discussão: 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 as espécies descritas na literatura. Sua classificação é possível apenas ao nível de família (Psaroniaceae) por apresentarem radículas actinostélicas e poliarcas circunscritas por anel esclerenquimático, distribuídas em duas zonas, uma mais interna, que contém raízes menores imersas em parênquima ou aerênquima, e a outra mais externa, que quando presente exibe radículas maiores não imersas em parênquima

(Morgan, 1959; Ehret & Phillips, 1977; Mickle, 1984; Herbst, 1986). Em alguns exemplares é possível observar externamente que as radículas são alongadas e comprimidas lateralmente. É provável que estes exemplares tenham constituído as porções do manto radicular próximo ao estelo e que o caráter comprimido esteja relacionado a uma zona de emissão de raízes adventícias. O exemplar IG/USP-GP/3E-290 (Fig. 5C) é o único que apresenta o protoxilema pentarco e células do parênquima cortical e intracortical preservados. Estas constituições anatômicas parecem ser comuns ao gênero *Psaronius*. Ao comparar este exemplar com as espécies *P. chasei* Morgan, 1959 emend. Mickle, 1984, *P. paucivasculosos* Bickle ex Mickle, 1984 e *P. schopfii*, Mickle, 1984 nota-se que o número de grupos de protoxilema é menor. As descrições para *Tuvichapteris solmsi* Herbst, 1987, são

similares, porém o espécime IG/USP-GP/3E-290 difere apenas por exibir o protoxilema pentarco. Os exemplares aqui analisados, quando comparados ao fragmento de manto radicular descrito por Nehls (2004), mostram nítida diferença quanto à organização do xilema primário da radícula, pois exibem metaxilemas unidos. Tal condição, no entanto, deve refletir apenas um estágio ontogenético. Para as espécies analisadas na Bacia do Paraná e Parnaíba, não existe um consenso quanto ao número de grupos de protoxilema, nem de traqueídes que compõem cada um destes grupos (Solms-Laubach, 1913; Maniero, 1954; Herbst, 1986, 1987; Nehls, 2004). Nota-se, deste modo, que o manto radicular das amostras não apresenta caracteres suficientes para classificá-los em gêneros e/ou espécies. Portanto, optou-se pela classificação desta forma em gênero e espécie indeterminados.

Tabela 2. Dimensões das estruturas anatômicas dos exemplares atribuídos à Gen. et sp. indet. Algumas estruturas não exibem diâmetro perfeito (\emptyset), sendo apresentados os eixos maiores e menores, obtidos nas seções transversais. Manto rad. - manto radicular, Cc- comprimento do caule, Dc- diâmetro do caule, Dr- diâmetro da radícula, Gprx- grupos de protoxilema.

Amostras	IG/SMA				IG/USP					URC PT		
	46v	6	278v	93v	VI-49-6	GP-3E-298	GP-3E-299	GP-3E-290	GP-3E-7474	81	82	83
Manto rad. (cm)	8,7x3,5 I*	8,0x5,6 I*	8,75x5,0 I*	6,5x4,3 I*	6,5x3,2 I*	4,3x2,2 I*	2,2x2,0 I*	4,3x3,0 I*	4,0x2,5 I*	1,0x1,5 I*	6,3x4,0 I*	Ausente
Estelo (cm)	Ausente	Ausente	10,0x2,75 I*	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	3,6x1,0 I*	Ausente	2,4x1,8 I*
Cc (cm)	9,5	3,5	4,0	2,4	6,0	4,5	4,0	2,0	1,0	1,5	3,0	3,0
Dc (cm)	I**	I**	16,0x9,5	I**	I**	I**	I**	I**	I**	5,0x4,0	I**	I**
Dr (mm)	2,0-4,0 \emptyset	3,0x2,0	4,0x2,0	4,0x2,0	3,5x1,35; 2,0x1,0; 1,35x0,6	4,15x1,15; 4,0x1,0; 2,0x0,5	4,6x0,95; 3,0x1,0; 2,0x0,7; 2,5x1,0	4,7x1,0; 7,0x2,0; 2,45x1,0; 3,0x0,5	2,0-4,0 \emptyset	1,0-4,0 \emptyset	6,0x2,0;7,0x1,0 2,0x0,6;4,0x2,0	Ausente
Gprx	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.	5	Não presr.	Não presr.	Não presr.	Não presr.

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

Não presr.-Não preservado

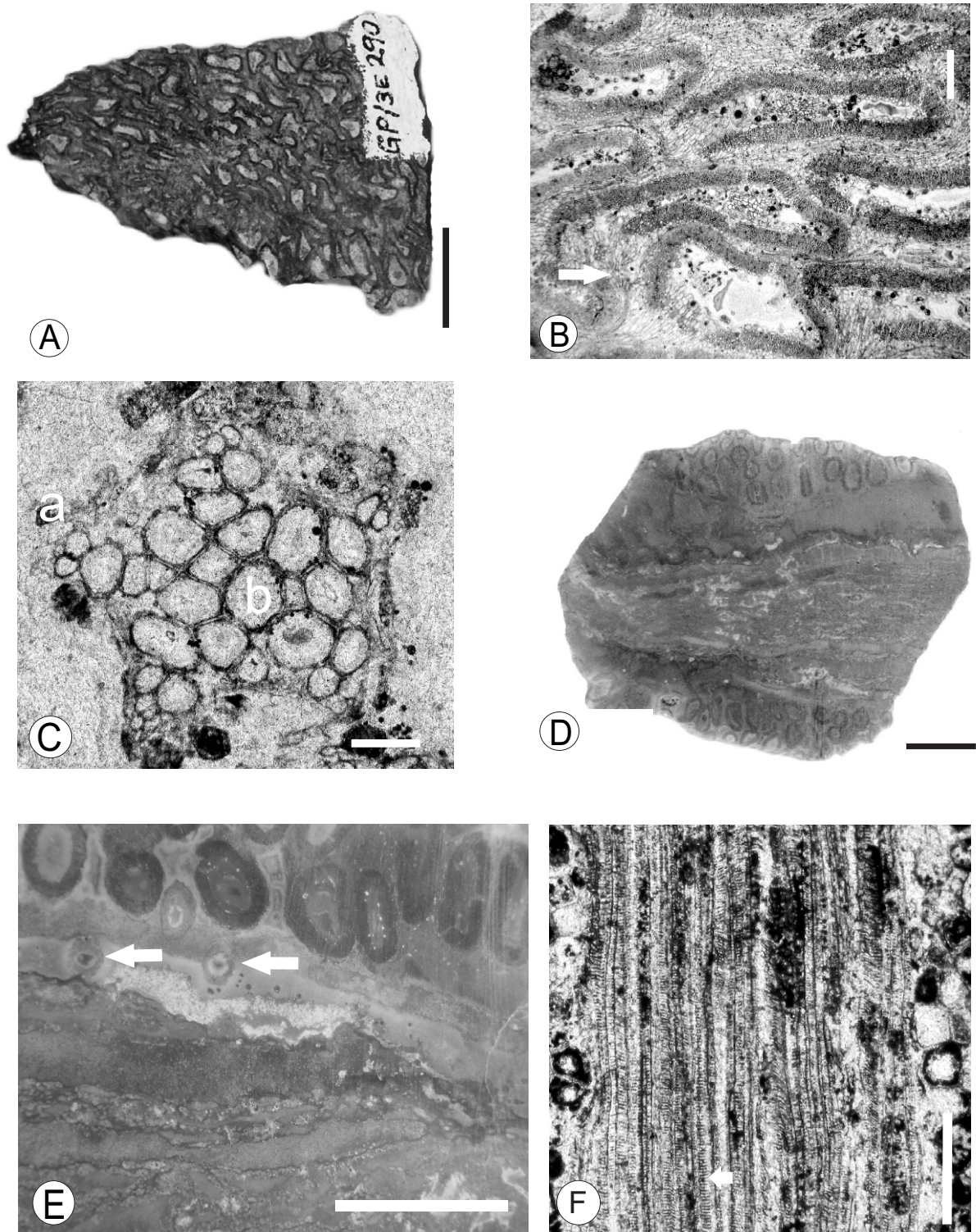


Figura 5. Gen. et sp. indet. A. IG/USP-GP/3E-290, vista de corte transversal do manto radicular. Radículas de coloração escura, escala = 10 mm; B. Detalhe de A. Corte transversal do manto radicular. Observar o parênquima cortical com células circulares próximas à radícula, e retangulares mais ao centro do parênquima. Radículas com o anel esclerenquimático interrompido (seta), escala = 1mm; C. Detalhe de A. Actinostelo mostrando cinco grupos de protoxilema (a) e o metaxilema (b), escala = 200 μ m; D. URC PT 81, vista de corte transversal do caule exibindo estelo comprimido e radículas de coloração escura, escala = 10 mm; E. Passagem de algumas radículas para o manto radicular (setas), escala = 5 mm; F. Seção longitudinal destacando os traqueídes dos meristelos com espessamentos escalariformes (seta), escala = 500 μ m.

4. Bioestratigrafia

Quanto à posição estratigráfica dos caules, é possível afirmar que aqueles coletados em Batalha (Rio Claro) pertencem à porção superior da Formação Corumbataí, aflorante na região. Nesta localidade ocorrem bivalves da Zona *Pinzonella neotropica*, a qual corresponde à biozona superior de bivalves da Formação Corumbataí. 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.

4.2. Aspectos tafonômicos

Os caules de Marattiales estudados não permitem realizar profundas discussões bioestratinômicas, tendo em vista o seu estado fragmentário, sua ocorrência como blocos rolados isolados sobre o solo ou por falta de informações de campo detalhadas, no caso dos exemplares emprestados por instituições, alguns coletados há várias décadas. De qualquer modo, 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 (Meghioratti, 2006).

Pode-se ressaltar que os caules foram pouco compactados antes de sua permineralização por sílica, pois eles praticamente mantiveram sua morfologia cilíndrica. A situação pouco compactada indica que a permineralização dos caules por sílica ocorreu antes de seu recobrimento por volumes expressivos de sedimentos. A permineralização indica que o processo abrangeu uma fase com SiO_4^{4-} em solução, o que pode ocorrer em soluções alcalinas (Figs. 2A-C; 3A e 4A). Tais soluções são facultadas em ambientes com intensa evaporação de água (Dietzel, 2000). A sílica precipita-se nos espaços vazios de restos vegetais quando se inicia a decomposição e começa a liberação de CO_2 . O dióxido de carbono dissolvido na água produz ácido carbônico, o qual diminui o pH junto aos restos vegetais promovendo a precipitação da sílica (Mussa & Coimbra, 1984; Jones *et al.*, 1998; Wang *et al.*, 2001; Bolzon *et al.*, 2004).

Condições de água bastante alcalinas podem estar relacionadas a estações secas ou a intervalos de tempo relativamente longos com relativa aridez. Os depósitos carbonáticos do Grupo Passa Dois, intercalados entre depósitos siliciclásticos, sugerem condições climáticas mais secas, quando o

suprimento de siliciclastos à bacia era reduzido e as águas se tornavam, provavelmente, mais salgadas, alcalinas e rasas (Meghioratti, 2006; Rohn, 2007).

4.3. Interpretação paleoecológica

A Formação Corumbataí exhibe uma tafoflora pouco diversificada, composta por macrovegetais vasculares com hábito de vida hidro-higrófilo, higrófilo, mesófilo e, em menor escala, xerófilo e algas carófitas (hidrófilas). As licófitas (hidro-higrófilas) parecem ser os vegetais mais representativos, seguindo-se as folhas de pteridófilas e de filicíneas (provavelmente higrófilas) (Rigby, 1968; Rohn & Rösler, 1986; Rohn & Morales, 1997; Alarcon, 1998; Tavares & Rohn, 2009; Faria *et al.*, 2009; Faria *et al.*, 2010). Os oogônios (gyrogonites) de algas carófitas foram identificados em várias localidades no Estado de São Paulo (Maranhão & Petri, 1996) com um raro registro de talo e anterídio associados aos oogônios (Faria & Ricardi-Branco, 2009). Caules de Marattiales (provavelmente higrófilos) e de gimnos-permas (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) (Solms-Laubach, 1913; Mussa, 1982; Perinotto & Rösler, 1985; Mezzalira, 1989; Rohn, 1994; Tavares, 2007; Faria & Ricardi-Branco, 2010).

Entre os constituintes orgânicos de um vegetal, as folhas normalmente exibem um conjunto de características morfo-anatômicas úteis para esclarecer as condições climáticas locais de uma área (Wilf, 1997; Wilf *et al.*, 1999; Royer *et al.*, 2005). Por isso, as folhas fósseis, sempre que possível, são utilizadas como referências paleoclimáticas de um ambiente sedimentar.

Este tipo de análise pode ser verificado para a Formação Teresina e Corumbataí, através das folhas de glossopterídeas (Oliveira-Babinsky & Rösler, 1984; Perinotto & Rösler, 1984, 1985; Rohn *et al.*, 1997b), folhas de coníferas (Fanton *et al.*, 2006) e folhas de pecopterídeas (Tavares, 2007; Tavares & Rohn, 2009).

As pecopterídeas permineralizadas por sílica de Piracicaba muito provavelmente estão relacionadas a Marattiales e apresentam algumas características xeromórficas que remetem a estresse hídrico e/ou intensa exposição aos raios solares, isto é, crescimento em locais não sombreados (Tavares & Rohn, 2009). Entretanto, até o momento, é impossível determinar as possíveis relações naturais entre as pecopterídeas

e os caules de Marattiales estudados, ressaltando-se também que as localidades de ocorrência são distintas.

Diferentemente das folhas, os caules de Marattiales estudados da Formação Corumbataí fornecem menos elementos para discussões no âmbito paleoecológico. A própria literatura sobre o assunto praticamente não aborda a anatomia caulinar no contexto de paleoclimas ou ambientes de vida das Marattiales. Assim, como as amostras do presente estudo, muitos caules descritos anteriormente são fragmentários e não foram encontrados *in situ*, o que limita bastante as interpretações.

A origem do gênero *Psaronius*, parece ter ocorrido em zona climática tropical na Província Euramericana (DiMichele & 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 Neocarbonífero na Inglaterra, Scott (1920 *apud* DiMichele & 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 dos caules.

DiMichele & Phillips (1994) e DiMichele *et al.* (2005) consideraram a composição anatômica de alguns caules econômica, por exibirem tecido aerenquimático. Estes autores interpretaram esta constituição caulinar como indicativa da ocupação em terras úmidas no Neocarbonífero. Tais filicíneas eram inicialmente oportunistas.

Para o Estefaniano, 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 estefanianos da Bacia de Illinois. Nesta fase, as Marattiales não ficaram restritas apenas às margens de canais que apresentavam flutuações do nível da água, mas expandiram-se para áreas de solos bem drenados, mais distantes dos corpos d'água, além de terem adquirido porte arbóreo com maiores dimensões (DiMichele & Phillips, 2002).

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

Para o Permiano do Gondwana, os registros de Marattiales arborescentes restringem-se ao Brasil, Uruguai, Paraguai e Argentina. No Brasil, os caules distribuem-se nas bacias do Paraná e do Parnaíba. Na primeira, todas as ocorrências limitam-se às formações Tatuí, Corumbataí e Teresina. Pode-se garantir que os *Psaronius* da Formação Corumbataí apresentavam 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 considerações estendem-se 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 traqueídes preservados que compõem o xilema primário dos meristelos e radículas apresentam espessamentos escalariformes 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 imersas 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 Euramerica registram mantos radiculares muito espessos, sendo possível verificar a presença de duas zonas: a) a interna, com as radículas menores, organizadas radialmente e imersas em parênquima ou aerênquima cortical, b) a 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 do material.

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 seu manto radicular ser relativamente espesso. As comparações

realizadas com os exemplares descritos por Herbst (1986), procedentes dos Estados de São Paulo e Santa Catarina, 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*, fornecidos 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 do gênero para a Bacia do Paraná. Este material exibe dimensão estelar bem menor se comparado ao exemplar de Herbst (1985), descrito para a Bacia do Paraná.

Portanto, conforme as informações apresentadas tornam-se evidentes os seguintes fatos: a) as Marattiales foram representantes pouco comuns ou tiveram baixo potencial de preservação durante a sedimentação das formações Corumbataí e Teresina; b) entre os poucos exemplares registrados, ocorre predomínio de caules de *Tietea singularis* sobre *Psaronius*, porém a maioria corresponde a mantos radiculares, cuja classificação não é possível em nível de gênero, c) os caules de Marattiales 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; d) até o momento, há somente um registro de interação planta-planta na Bacia do Paraná, tratando-se de um fragmento de manto radicular de Marattiales com caule protostélico da epífita *Tubicaulis* sp. (Nehls, 2004).

Entre os fatos listados, o diâmetro relativamente pequeno de caules de Marattiales na Bacia do Paraná, e os seus meristelos também pequenos em comparação aos exemplares de outras bacias podem ter relação com paleoclimas menos úmidos. Neste contexto, é interessante a informação de que esporos de filicíneas são mais abundantes e diversificados do que quaisquer outros palinórfos, em análises realizadas na Formação Teresina (Neregato *et al.*, 2008). Portanto, a relativa escassez de caules de Marattiales na Bacia do Paraná teve provavelmente forte controle tafonômico. Outra observação refere-se ao clima: filicíneas arbóreas, assim como as pteridófitas de um modo geral, não sobrevivem em condições realmente áridas, tendo em vista sua reprodução com fases gametofíticas e esporofíticas. Portanto as possíveis condições “menos”

úmidas inferidas para a Bacia do Paraná são bastante relativas e se referem aos intervalos de tempo em que as filicíneas proliferaram. As formações Teresina e Corumbataí podem corresponder a mais de 3 milhões de anos de sedimentação, durante o Mesopermiano (Rohn, 2007), e oscilações climáticas, desde condições úmidas até relativamente secas, ocorreram durante este intervalo.

Existem duas possibilidades para tentar explicar a baixa frequência de *Psaronius* em comparação ao número já reduzido de ocorrências de *Tietea* na Bacia do Paraná: a) a proporção original de indivíduos dos dois gêneros talvez tenha sido similar, mas as condições tafonômicas e/ou as coletas ao acaso foram mais favoráveis para *Tietea* b) *Psaronius* teria sido, de fato, um gênero menos expressivo na Bacia do Paraná, já condenado 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 Gondwana.

Cabe ser destacado que no Permiano da Bacia do Parnaíba, onde os caules petrificados são muito mais abundantes que na Bacia do Paraná, *Tietea* supera plenamente *Psaronius* e qualquer outro gênero em termos de representação. Ainda que tenha ocorrido algum controle tafonômico no registro, a situação observada talvez corrobore algumas interpretações sugeridas para a Bacia do Paraná. *Tietea*, aparentemente, teve maior sucesso que *Psaronius* nas duas bacias porque deve ter evoluído no Gondwana Ocidental em condições bastante distintas daquelas pantanosas úmidas que predominaram no surgimento das primeiras Marattiales. Os indivíduos de *Tietea* devem ter sido mais tolerantes a condições pouco úmidas ou à exposição direta aos raios solares, enquanto os representantes de *Psaronius*, talvez, tenham se mantido ocupando áreas, preferencialmente, úmidas e sombreadas, cada vez mais restritas. Vários aspectos sobre as comunidades vegetais permianas ainda são desconhecidas para alcançar maior objetividade nas interpretações.

A forte presença de *Tietea* parece ser independente do fato de a Bacia do Paraná ter sido ocupada pela Flora *Glossopteris* e a Bacia do Parnaíba ter apresentado uma flora bastante distinta, sem a presença de glossopterídeas e com

a ocorrência de alguns elementos das floras setentrionais (e.g., *Grammatopteris*, Rößler, 2006).

6. Conclusões

Na Formação Corumbataí, nos Municípios de Rio Claro (localidade de Batalha) e Fartura (às margens da represa Xavantes), foram encontrados fragmentos de caules de Marattiales identificados como *Tietea* cf. *Tietea singularis* Solms-Laubach, 1913 emend. Herbst, 1986. No Município de Casa Branca, também em depósitos da Formação Corumbataí, foi coletado um exemplar atribuído a *Psaronius* cf. *Psaronius arrojadoi* Pelourde, 1914 emend. Herbst, 1985. Trata-se do primeiro espécime da Bacia do Paraná que pode ser incluído seguramente no gênero *Psaronius*.

Diversos exemplares de mantos radiculares de Marattiales procedentes de Piracicaba, Conchas, Paranapanema, Rio Claro e Fartura não apresentaram características diagnósticas suficientes para classificação em nível de gênero. Da mesma forma, o exemplar de Santa Catarina (Formação Teresina) anteriormente incluído em *Psaronius*, deveria ser identificado apenas como manto radicular de Marattiales, Família Psaroniaceae.

Os caules analisados, permineralizados por sílica não permitem inferir diretamente as condições de vida das filicíneas, tendo em vista sua preservação incompleta e as escassas abordagens integrativas sobre anatomia e paleoecologia dessas plantas na literatura.

Por outro lado, os estelos e meristelos relativamente pequenos dos caules da Bacia do Paraná sugerem condições menos úmidas do que aquelas que vigoravam nos ambientes de vida das Marattiales encontradas no Permiano da Bacia do Parnaíba.

Tietea é um gênero formalmente descrito na Bacia do Paraná em porções brasileiras, com breve relato no Paraguai, e também na Bacia do Parnaíba, sendo mais significativo em número de espécimes do que *Psaronius*. O gênero provavelmente originou-se no Gondwana Ocidental em ambientes sob condições menos úmidas e/ou sombreadas que aqueles das Marattiales carboníferas (e.g. *Psaronius*) das floras setentrionais.

Agradecimentos - As autoras agradecem à Fapesp (processos 05/58496-5 e 05/55027-4) pelos recursos financeiros destinados à realização deste trabalho, ao IGCE-UNESP, IG/USP e IG/SMA por terem concedido o material para estudo. À Suzana Rohn pelas traduções dos artigos em alemão. Sinceros agradecimentos aos revisores pelas sugestões.

Referências

- Alarcon, C.M. 1998. *Licófitas da Formação Corumbataí, Grupo Passa Dois, Neopermiano, Bacia do Paraná, na região de Artemis, Município de Piracicaba, SP-Brasil*. Guarulhos, 97p. Dissertação de Mestrado, Programa de Ciências Biológicas, Área de concentração Paleontologia, Universidade de Guarulhos.
- Bolzon, R.T., Silvério da Silva, J.L. & Machado, L.G. 2004. Fossilização de lenhos do mesozóico do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(2): 103-110.
- Brongniart, A. 1872. Notice sur le *Psaronius brasiliensis*. *Bulletim de la Societé Botanique de France*, 19: 3-10.
- Chahud, A. & Petri, S. 2009. Levantamento inicial dos fósseis vegetais da fácies Ibicatu, Formação Tatuí (Permiano) do Estado de São Paulo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA-NÚCLEO SÃO PAULO, 2009, Guarulhos. *Boletim de Resumos...* São Paulo, SBP, p. 43.
- Chaloner, W.G. & Mclwain, J. 1997. The fossil plant record and global climatic change. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 95: 73-82.
- Coimbra, A.M. & Mussa, D. 1984. Associação lignitaoflorística na Formação Pedra de Fogo, (Arenito Cacunda), Bacia do Maranhão-Piauí, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro, SBG, p. 591-605.
- Cotta, B. 1832. *Die Dendrolithen in Bezug auf ihren inneren Bau*. Leipzig und Dresden (Arnoldische Buchhandlung). 89S.
- Cúneo, R. & Archangelsky, S. 1987. Sobre la presencia de helechos arborescentes em La Formacion Rio Genoa, Provincia de Chubut, Argentina. In: SIMPOSIO ARGENTINO DE PALEOBOTANICA Y PALINOLOGIA, 7., 1987, Buenos Aires. *Actas...* Argentina, p. 51-54.
- Delevoryas, T., Taylor, T.N. & Taylor, E.L. 1992. A marattialean fern from the Triassic of Antártica. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 74: 101-107.
- Derby, O.A. 1913. Observations on the stem structure of *Psaronius brasiliensis*. *American Journal Science*, 36: 489-497.
- Derby, O.A. 1915. Illustrations of the stem structure of *Tietea singularis*. *American Journal Science*, 36(4): 251-260.
- Dias-Brito, D., Rohn, R., Castro, J.C., Dias, R.R. & Rössler, R. 2007. Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional. O mais exuberante e importante registro florístico tropical-subtropical permiano no Hemisfério Sul. In: Winge, M., Schobbenhaus, C., Berbert-Born, M., Queiroz, E. T., Campos, D. A., Souza, C. R. G. & Fernandes, A .C. S. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio104/sitio104.pdf>>. Acesso em: 12 março. 2007.
- Dietzel, M. 2000. Dissolution of silicates and the stability of polysilic acid. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(19): 3275-3281.

- DiMichele, W.A. & Phillips, T.L. 1994. Paleobotanical and paleoecological constraints on models of peat formation in the Late Carboniferous of Euramerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*, 106: 39-90.
- DiMichele, W.A. & Phillips, T.L. 2002. The ecology of Paleozoic ferns. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 119: 143-159.
- DiMichele, W.A., Gastaldo, R.A. & Pfefferkorn, H.W. 2005. Plant biodiversity partitioning in the Late Carboniferous and Early Permian and its implication for ecosystem assembly. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 56 (supl.) 1(4): 32-49.
- Dolianiti, E. 1948. A paleobotânica no Brasil. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia (Rio de Janeiro)*, 123: 1-62.
- Dolianiti, E. 1962. Vegetais fósseis da Bacia Tocantins-Araguaia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 34(4): 477-481.
- Dolianiti, E. 1972. Relações entre as floras paleozóicas do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 44: 113-117.
- Ehret, D.L. & Phillips, T.L. 1977. *Psaronius* root systems – morphology and development. *Palaeontographica, Abt. B*, 161: 147-164.
- Fanton, J.C.M., Ricardi-Branco, F., Torres de Ricardi, M. & Rohn, R. 2006. Reinvestigação da conífera permiana *Krauselcladus* (Formação Teresina, Bacia do Paraná, Brasil): novas interpretações morfológicas e anatômicas. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 9(2): 221-234.
- Faria Jr., L.E. & Truckenbrodt, W. 1980. Estratigrafia e Petrografia da Formação Prdra de Fogo, Permiano da Bacia do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. *Anais ... Santa Catarina, SBG*, v. 2, p. 740-754.
- Faria, R.S. & Ricardi-Branco, F., Giannini, P.C., Sawakuchi, A.O. & Del Bem, L.E.V. 2009. *Lycopodiopsis derbyi* Renault from the Corumbataí Formation in the state of São Paulo (Guadalupian of Paraná Basin, Southern Brazil): New data from compressed silicified stems. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 158: 180-192.
- Faria, R.S. & Ricardi-Branco, F. 2009. *Leonardosia langei* Sommer (Charophyta, Porocharaceae) from Corumbataí Formation (Guadalupian), Piracicaba, SP, Brazil: First record of antheridium and of corticated thalli. *Ameghiniana*, 46(1): 49-57.
- Faria, R.S. & Ricardi-Branco, F. 2010. *Lepidophylloides corumbataensis* sp. nov. from the Guadalupian in the Paraná Basin, southern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 160: 135-142.
- Faria, R.S. & Ricardi-Branco, F. 2010. Lenhos gimnospérmicos do permiano da Bacia do Paraná. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA-NÚCLEO SÃO PAULO, 2010, Rio Claro. *Boletim de Resumos...* São Paulo, SBP, p. 36.
- Góes, A.M.O. & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(1): 57-67.
- Herbst, R. 1975. Helechos Pérmicos del Paraguay. In: CONGRESSO ARGENTINO PALEONTOLOGIA Y BIOESTRATIGRAFIA., 1., 1975, Tucumán. *Actas...* Tucumán. 1975. p.428-439.
- Herbst, R. 1979. Paleontological and stratigraphic research in Paraguay. *National Geographic Society Research Reports, Projects*, 343-352.
- Herbst, R. 1985. Nueva descripción de *Psaronius arrojadoi* (Pelourde) (Marattiales), del Permiano de Brasil. *Ameghiniana*, 21(2-4): 243-258.
- Herbst, R. 1986. Studies on Psaroniaceae. I. The family Psaroniaceae (Marattiales) and a redescription of *Tietea singularis* Solms-Laubach, from the Permian Brazil. In: CONGRESSO ARGENTINO PALEONTOLOGIA Y BIOESTRATIGRAFIA, 4., 1986, Mendoza. *Actas...* Mendoza, v. 1, p. 163-171.
- Herbst, R. 1987. Studies on Psaroniaceae. II. *Tuvichapteris solmsi* nov. gen. et. sp. from the Permian of Paraguay and Uruguay. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 4., 1987, Santa Cruz de la Sierra. *Anais...* Bolívia, v. 1, p. 267-282.
- Herbst, R. 1992. Studies on Psaroniaceae. III. *Tietea derbyi* n. sp., from the Permian of Brazil. *Courier Forschungsinstitut Institute Senckenberg*, 147: 155-161.
- Herbst, R. 1999. Studies on Psaroniaceae. IV. Two species of *Psaronius* from Araguaia, State of Tocantins, Brazil. *Facena*, 15: 9-17.
- Jones, B., Renaut, R.W., Rosen, M.R. & Klyen, L. 1998. Primary siliceous rhizoliths from Loop Road Hot Springs, North Island, New Zealand. *Journal of Sedimentary Research*, 68(1): 115-123.
- Lesnikowska, A.D. 1989. *Anatomically preserved Marattiales from the swamp of the desmoinesian and Missourian of the midcontinent United States: systematics, ecology, and evolution*. 236p. PhD. Thesis, University of Illinois, Urbana, IL.
- Maniero, J. 1954. Contribuição ao estudo de Pteridíneas do sul do Brasil. In: Lange, F.W. (Ed). *Paleontologia do Paraná. Comissão de Comemorações do Centenário do Paraná*. Volume Comemorativo do 1º Centenário do Estado do Paraná. Curitiba, p. 151-152.
- Maranhão, M.S.A.S. & Petri, S. 1996. Novas ocorrências de fósseis nas formações Corumbataí e Estrada Nova do Estado de São Paulo e considerações preliminares sobre seus significados paleontológico e bioestratigráfico. *Revista do Instituto Geológico*, 17(1-2): 35-54.
- Meglhioratti, T. 2006. *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*. Rio Claro, 129p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Mezzalana, S. 1989. Os fósseis do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 2ed. São Paulo, 141p.
- Mickle, J.E. 1984. Taxonomia of specimens of the Pennsylvanian age marattiale fern *Psaronius* from Ohio and Illinois. *Illinois State Museum of Science*, 19: 1-64.
- Morgan, J. 1959. The morphology and anatomy of

- American species of *Psaronius*. *Illinois Biological Monographs*, 27: 1-107.
- Mussa, D. 1982. *Lignitaflores permianas da Bacia do Paraná, Brasil (Estados de São Paulo e Santa Catarina)*. São Paulo, 2v. 463p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Mussa, D. & Coimbra, A.M. 1984. Método de estudo tafonômico aplicado a lignispécimes permianos da Bacia do Paraná. *Academia Brasileira de Ciências*, 56(1):85-101.
- Mussa, D. & Coimbra, A.M. 1987. Novas perspectivas de comparação entre as taflores permianas (de lenhos) das bacias do Parnaíba e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10., 1987, Rio de Janeiro. *Anais ... Rio de Janeiro, SBP*, v. 2, p. 901-923.
- Nehls, C.A. 2004. *Taxonomia de lenhos do planalto de Canoinhas, Santa Catarina, Brasil (Permiano da Bacia do Paraná)*. Florianópolis. 105p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Neregato, R., Souza, P.A. & Rohn, R. 2008. Registros palinológicos inéditos nas formações Teresina e Rio do Rasto (Permiano, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná) implicações biocronoestratigráficas e paleoambientais. *Pesquisas em Geociências*, 35(2): 9-21.
- Oliveira-Babinski, M.E.C.B. & Rösler, O. 1984. Licófitas de Fuvópolis (Permiano Superior) no sul do Estado do Paraná. *Boletim IG-USP. Série Científica*, 15: 84-89.
- Pelourde, F. 1914. A propos des *Psaroniées* du Brésil. Association Française pour L'avancement des Sciences, 43. *Compte- Rendu de la session Le Havre*, p. 442-445.
- Perinotto, J.A.J. & Rösler, O. 1984. Glossopterídeas de Fluvópolis (Permiano Superior) no sul do Estado do Paraná. *Boletim IG-USP. Serie Científica*, 15: 90-96.
- Perinotto, J.A.J. & Rösler, O. 1985. Nota sobre a ocorrência de *Glossopteris* na porção superior da Formação Corumbataí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8., 1985, Rio de Janeiro. *Série Geologia*, 27 (Paleontologia/Estratigrafia), Rio de Janeiro: MME-DNPM, 619-622.
- Pfefferkorn, H.W. 1976. Pennsylvanian tree fern compressions *Caulopteris*, *Megaphyton*, and *Artisophyton* gen. nov. in Illinois. *Illinois State Geological Survey*. Circular 492. 31p.
- Pfefferkorn, H.W. & Thomson, M. 1982. Changes in dominance patterns in Upper Carboniferous plant-fossil assemblages. *Geology*, 10: 641-644.
- Phillips, T.L., Peppers, R.A. & DiMichele, W.A. 1985. Stratigraphic and interregional changes in Pennsylvanian coal – swamp vegetation: environmental inferences. *International Journal of Coal Geology*, 5: 43-109.
- Pinto, C.P. & Sad, J.H.G. 1986. Revisão da estratigrafia da Formação Pedra de Fogo, borda sudoeste da Bacia do Parnaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia. *Anais ... Goiás, SBG*, v. 1, p. 346-358.
- Rigby, J.F. 1968. New fóssil locality near Laras, State of São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22., 1968, Belo Horizonte. *Anais ... Belo Horizonte, SBG*, p. 201-208.
- Rohn, R. 1994. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano do leste de Santa Catarina e do Paraná*. São Paulo, 2v. 386p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Rohn, R. 2007. The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): investigations in progress. In: PROBLEMS IN THE WESTERN GONDWANA GEOLOGY, SOUTH AMERICA-AFRICA CORRELATIONS: DU TOIT REVISITED. I WORKSHOP, 2007., Gramado. *Extended Abstracts...*, Rio Grande do Sul, p. 151-157.
- Rohn, R. & Morales, N. 1997. Pteridófilas e outros vegetais neopermianos permineralizados por sílica da Formação Teresina, em Piracicaba (SP). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69(2): 274.
- Rohn, R., Rösler, O., Pennatti, J.R.R., Davies, H-P. K. & Cavalheiro, M.C.T. 1997b. 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. *Revista da Universidade de Guarulhos, Geociências*, 2: 69-75.
- Rohn, R. & Rösler, O. 1986. Pteridófilas pecopteróides da Formação Rio do Rasto no Estado do Paraná e da Formação Estrada Nova no Estado de São Paulo (Bacia do Paraná, Permiano Superior). *Boletim IG-USP*, 17: 57-76.
- Rothwell, G.W. & Blicke, A.H. 1982b. *Psaronius magnificus* n. comb., A Marattiale fern from the Upper Pennsylvanian or North America – Addendum. *Journal of Paleontology*, 56(6): 1494-1496.
- Royer, D.L., Wilf, P., Jansen, D.A., Kowalski, E.A. & Dilcher, D.L. 2005. Correlations of climate and plant ecology to leaf size and shape: potential proxies the fossil record. *American Journal of Botany*, 92(7): 1141-1151.
- Röbber, R. 2006. Two remarkable Permian petrified forests: correlations, comparison and significance. *The Geological Society of London*, 265: 39-63.
- Solms-Laubach, H.G.Z. 1913. *Tietea singularis*, ein neuer Fossiler Pteridinen-Stamm aus Brasilien.-*Zeitschr. Botanik*, 5 (9): 673-700.
- Tavares, T.M.V. 2007. *Filicíneas permianas permineralizadas da Formação Corumbataí, Nordeste da Bacia do Paraná, Rio Claro*. 135p. Dissertação de Mestrado em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Tavares, T.M.V. & Rohn, R. 2009. First record of petrified Permian pecopterids from the Paraná Basin, Brazil (Corumbataí Formation, Passa Dois Group, northeastern State of São Paulo): Morphology, anatomy and paleoecological implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 27(1): 60-73.
- Wang, Y., Xu, H. & Bryan, C. 2001. Formation of petrified woods, an organic-molecule-templated silica

mineral precipitation in nature. *In*: ANNUAL MEETING GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 33., 2001, Boston. *Abstract...* Massachusetts, GSA, v. 33, p. 234. Disponível em: <http://gsa.confex.com/gsa/2001AM/finalprogram/abstract_26122.htm>. Acesso em: 18 out.2008.

Wilf, P. 1997. When are leaves good thermometers? A new case for leaf margin analysis. *Paleobiology*, 23: 373-390.

Wilf, P., Wing, S.L., Greenwood, D.R. & Greenwood, C.L. 1999. Using fossil leaves as paleoprecipitation indicators: an Eocene example: Comment and reply. *Geology*, 27: 91-92.