

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

**ANÁLISE TAXONÔMICA E BIOESTRATIGRÁFICA DAS FOLHAS DE  
GLOSSOPTERÍDEAS DE DEPÓSITOS  
EOPERMIANOS DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL**

GRACIELA PEREIRA TYBUSCH

ORIENTADOR: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi

Porto Alegre – 2013

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

**ANÁLISE TAXONÔMICA E BIOESTRATIGRÁFICA DAS FOLHAS DE  
GLOSSOPTERÍDEAS DE DEPÓSITOS  
EOPERMIANOS DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL**

GRACIELA PEREIRA TYBUSCH

ORIENTADOR: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi

**BANCA EXAMINADORA**

Profa. Dra. Tânia Lindner Dutra – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil

Prof. Dr. André Jasper – Centro Universitário Univates, Lajeado, RS, Brasil

Dra. Daiana Rockenbach Boardman – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Tese de Doutorado apresentada como  
requisito parcial para a obtenção do  
Título de Doutor em Ciências

Porto Alegre – 2013

### CIP - Catalogação na Publicação

PEREIRA TYBUSCH, GRACIELA

Análise Taxonômica e Bioestratigráfica das folhas de Glossopterídeas de Depósitos Eopermianos da Bacia do Paraná, Brasil / GRACIELA PEREIRA TYBUSCH. -- 2013.

247 f.

Orientador: Roberto Iannuzzi.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS, 2013.

1. Folhas de glossopterídeas. 2. Taxonomia . 3. Fitoestratigrafia . 4. Permiano Inferior. 5. Bacia do Paraná. I. Iannuzzi, Roberto , orient. II. Título.

***À minha mãe...*** *minha inspiração, meu porto seguro,  
por estar sempre presente, mesmo quando estamos distantes,  
por ser minha melhor amiga,  
por sua dedicação aos filhos,  
por seu amor imenso,  
e por me fazer sonhar.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que, de alguma forma, me ajudaram a seguir por este longo caminho, fazendo de mim uma profissional dedicada e uma pessoa amorosa. Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGGEO/UFRGS), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Museu Nacional do Rio de Janeiro, DNPM-RJ, a Universidade de São Paulo, USP, LaViGea – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS e UNIVATES, ao meu orientador, aos meus professores, aos meus colegas de pós-graduação da paleontologia, palinologia e paleobotânica, aos meus amigos (todos que sempre vão estar no meu coração, perto ou longe).

### **Em especial, a minha família...**

...aos meus pais Lara e Guilherme, meus irmãos Guilherme e Kleber, a Maria Helena e Priscila, aos meus amores Sérgio e as Sofias...**pelo carinho, amor, por tornarem meus dias mais felizes, e me mostrarem que o mais importante é poder estar junto de quem a gente ama.**

## RESUMO

Esta tese teve como objetivo inicial estabelecer critérios mais precisos para classificação taxonômica das folhas de Glossopteridales, com especial ênfase à reavaliação daquelas do tipo “gangamopteróide”, a fim de determinar sua distribuição estratigráfica ao longo do intervalo Permiano Inferior da Bacia do Paraná. Para tanto, foram ponderados os critérios morfológicos que diagnosticavam os três morfogêneros de folhas de glossopterídeas presentes na Bacia do Paraná, i.é *Rubidgea* Tate, *Gangamopteris* McCoy e *Glossopteris* Brongniart. Consequentemente houve uma reavaliação taxonômica das formas previamente incluídas nos gêneros *Rubidgea* e *Gangamopteris*, visando estabelecer uma maior precisão e uniformidade na classificação dessas formas. Além disso, algumas formas de *Glossopteris* também foram analisadas. O estudo foi desenvolvido a partir do levantamento de mais de mil espécimes depositados no acervo paleobotânico de diferentes instituições (UFRGS, UNISINOS, UNIVATES, USP, UFRJ-MN, DNPM-RJ), bem como, de amostras inéditas coletadas ao longo de atividades de campo, referentes a 11 localidades consideradas mais importantes do ponto de vista paleobotânico, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, a saber: Acampamento Velho, Faxinal, Cerro do Chapéu, Morro do Papaléo, Cambaí Grande e Quitéria, no Rio Grande do Sul; Bainha, Lauro Müller e Rio da Estiva, em Santa Catarina; São João do Triunfo, no Paraná; Sítio Itapema, em São Paulo. Como resultado da reavaliação taxonômica, os espécimes previamente descritos e incluídos no gênero *Rubidgea*, encontrados em depósitos do sul (i.é Rio Grande do Sul) e nas porções mais ao norte da Bacia Paraná (i.é São Paulo), foram realocados em *Gangamopteris*, pois se constatou que estes não correspondiam à diagnose original do gênero, uma vez que apresentavam anastomoses ao longo da lâmina foliar. Além da inclusão de todos os fósseis sul-rio-grandenses anteriormente classificados como *Rubidgea* em *Gangamopteris*, classificaram-se os espécimes deste último gênero em sete morfoespécies, e.g. *Gangamopteris obovata*, *G. cyclopteroides* var. nov. *dolianitii* (= *G. obovata* var. *major*), *G. buriadica*, *G. revoluta*, *G. cyclopteroides*, *G. sulriograndensis*, *G. aff. G. mosesi*, distribuídas em distintos níveis estratigráficos em localidades eopermianas do Rio Grande do Sul. Deste modo, duas novas espécies e uma nova variedade, atribuídas ao gênero

*Gangamopteris*, foram descritas e propostas nesta tese, a saber: *Gangamopteris revoluta* Tybusch e Iannuzzi e *G. sulriograndensis* Tybusch, Iannuzzi, Frank, *G. cyclopteroides* var. nov. *dolianitii* Tybusch e Iannuzzi. Foi realizada uma emenda à diagnose original de *Glossopteris occidentalis* White emend. Tybusch e Iannuzzi, o que proporcionou a ampliação da distribuição geográfica e bioestratigráfica desta espécie para o eopermiano da bacia. O registro de folhas de glossopterídeas foi revisado e analisado para os afloramentos Cambaí Grande e Rio da Estiva. Assim sendo, foi confirmada, o primeiro registro de folhas do tipo *Glossopteris* (*Glossopteris* aff. *G. zeilleri*) e da espécie indiana *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel na paleoflora de Cambaí Grande. Na paleoflora de Rio da Estiva, folhas do tipo *Glossopteris* foram classificadas em nível de espécie, e.g. *Glossopteris communis* Feistmantel, *G. occidentalis* White emend. Tybusch e Iannuzzi e *Glossopteris* cf. *G. indica* Schimper, e *Gangamopteris obovata* (Carr.) White foi assinalada pela primeira vez. A partir da extensa revisão das folhas de glossopterídeas dos afloramentos estudados foi possível realizar uma análise fitoestratigráfica dentro do intervalo Permiano Inferior da bacia (i.é Grupo Itararé - Formação Rio Bonito), a partir da qual foram estabelecidos quatro intervalos (I a IV) bem definidos por conjuntos de táxons e indicadas algumas morfoespécies que poderiam ser utilizadas como fósseis-índice em fitozoneamentos futuros. Por fim, *Gangamopteris* e *Glossopteris* foram considerados como dois gêneros distintos e válidos. Porém, sugeriu-se que as formas similares às folhas da espécie *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, poderiam vir a ser reclassificadas em um novo gênero devido a ausência de uma venação mediana diferenciada.

**Palavras chave:** *Gangamopteris*, *Glossopteris*, Taxonomia, Fitoestratigrafia, Permiano Inferior, Bacia do Paraná.

## ABSTRACT

This Ph.D. dissertation was the initial goal to establish clearer criteria for taxonomic classification of leaves from Glossopteridales, with special emphasis on reevaluation of those type "gangamopteroid" in order to determine their stratigraphic distribution along the Lower Permian interval of the Paraná Basin. For both, the morphological criteria that characterized the three morphogenera of glossopterid leaves present in the Paraná Basin, i.e. *Rubidgea* Tate, *Gangamopteris* McCoy and *Glossopteris* Brongniart have been weighted. Consequently there was a taxonomic reevaluation of the forms previously included in the genera *Rubidgea* and *Gangamopteris*, to establish greater accuracy and uniformity in classification of these forms. In addition, some forms of *Glossopteris* were also analyzed. This study was developed through from the survey of over a thousand of specimens housed in the palaeobotanical collections of various institutions (UFRGS, UNISINOS UNIVATES, USP, MN-UFRJ, RJ-DNPM), as well as unpublished samples collected along the field trips, referring to 11 sites considered the most important from the point of view palaeobotanical, in the states of Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná and São Paulo, as follows: Acampamento Velho, Faxinal, Cerro do Chapéu, Morro do Papaléo, Cambaí Grande and Quitéria, in Rio Grande do Sul; Bainha, Lauro Müller and Rio da Estiva, in Santa Catarina; São João do Triunfo, in Paraná; Sítio Itapema, in São Paulo. As a result of taxonomic reevaluation, the specimens previously described and included in the genus *Rubidgea*, found in deposits from the south (i.e. Rio Grande do Sul) and in the further north portions of the Paraná Basin (i.e. São Paulo), were relocated in *Gangamopteris*, it was found that they did not correspond to the original diagnosis of the genus since it had anastomosis along the leaf lamina. In addition to including all fossils from Rio Grande do Sul previously classified as *Rubidgea* in *Gangamopteris*, were classified specimens of the latter genus in seven morphospecies, e.g. *Gangamopteris obovata*, *G. cyclopteroides* var. nov. *dolianitii* (= *G. obovata* var. *major*), *G. buriadica*, *G. revoluta*, *G. cyclopteroides*, *G. sulriograndensis*, *G. aff. G. mosesi*, distributed at different stratigraphic levels in Early Permian localities. Thus, two new species and one new variety, assigned to the genus *Gangamopteris*, were described and proposed in this thesis, namely: *Gangamopteris revoluta* Tybusch & Iannuzzi e *G. sulriograndensis* Tybusch,

Iannuzzi, Frank, *G. cyclopteroides* var. nov. *dolianitii* Tybusch & Iannuzzi. The original diagnosis of *Glossopteris occidentalis* White was emended by Tybusch and Iannuzzi, which provided a biostratigraphic and geographic expansion of previous distribution of this species in the Early Permian strata from the basin. Also, the record of glossopterid leaves was reviewed and analyzed for Cambaí Grande and Rio da Estiva outcrops. Therefore, it was confirmed, the first record of the *Glossopteris*-type leaves (*Glossopteris* aff. *G. zeilleri*) and Indian species *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel in paleoflora of Cambaí Grande outcrop. In paleoflora of Rio Estiva, the *Glossopteris*-type leaves were classified at the species level, e.g. *Glossopteris communis* Feistmantel, *G. occidentalis* White emend. Tybusch and Iannuzzi and *Glossopteris* cf. *G. indica* Schimper, and *Gangamopteris obovata* (Carr.) White was recorded for the first time. From the extensive review of the glossopterid leaves of the study outcrops, have been possible to carry out a fitostratigraphic analysis within the Lower Permian interval of the basin (i.e. Itararé Group - Rio Bonito Formation), from which the four intervals (I to IV) were established based on well-defined sets of taxa and some morphospecies that could be used as index fossils in future phytozonation were indicated. Finally, *Gangamopteris* and *Glossopteris* were considered as two distinct and valid genera. However, it was suggested that forms of leaves similar to the species *Gangamopteris obovata* (Carr.) White could turn out to be reclassified in a new genus due to absence of a differentiated midrib.

**Keywords:** *Gangamopteris*, *Glossopteris*, Taxonomy, Phytostратigraphy, Lower Permian, Paraná Basin.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa de localização dos afloramentos estudados.....	16
<b>Figura 2:</b> Tipos de anastomoses em folhas de glossopterídeas: A) conexão oblíqua; B) conexão transversal; C) conexão em “X” (retirado de Tybusch & Iannuzzi, 2008).....	20
<b>Figura 3:</b> (A) Mapa de localização da Bacia do Paraná na região sul da América do Sul e (B) carta estratigráfica da Bacia do Paraná (modificado de Holz et al., 2010).....	22
<b>Figura 4:</b> Perfil estratigráfico do afloramento Acampamento Velho (adaptado de Cazzulo-Klepzig et al., 1980).....	25
<b>Figura 5:</b> Perfil estratigráfico do afloramento de Faxinal (adaptado de Guerra-Sommer et al., 1980).....	27
<b>Figura 6:</b> Perfil estratigráfico do Cerro do Chapéu (Tybusch et al. 2009).....	28
<b>Figura 7:</b> Perfil estratigráfico do Morro do Papaléo (adaptado de Iannuzzi et al. 2010).....	31
<b>Figura 8:</b> Perfil estratigráfico do afloramento Cambaí Grande (Tybusch et al., submetido).....	34
<b>Figura 9:</b> Perfil estratigráfico de Quitéria (Boardman, 2011).....	36
<b>Figura 10:</b> Perfil estratigráfico do afloramento Rio da Estiva (Tybusch et al., 2012).....	38
<b>Figura 11:</b> Perfil estratigráfico do afloramento Bainha (modificado de Iannuzzi, 2010).....	40
<b>Figura 12:</b> Perfil estratigráfico do afloramento São João do Triunfo (modificado de Iannuzzi et al. 2010).....	43
<b>Figura 13:</b> Perfil estratigráfico do afloramento Sítio Itapema (adaptado de Millan & Dolianiti, 1982).....	44
<b>Figura 14:</b> <i>Gangamopteris cyclopteroides</i> var. nov. <i>dolianitii</i> , MP-Pb 3704: foto (A) e desenho (B) mostrando o padrão da venação. Escalas = 1cm.....	67
<b>Figura 15:</b> Distribuição estratigráfica das folhas de glossopterídeas.....	75
<b>Figura 16:</b> Comparação das folhas de glossopterídeas sem veia média e com veia média propriamente dita; a) <i>Gangamopteris obovata</i> ; b) <i>G. cyclopteroides</i> ; c) <i>G. cyclopteroides</i> var. nov. <i>dolianitii</i> ; d) <i>Glossopteris decipiens</i> ; e) <i>G. browniana</i> e f) <i>G. occidentalis</i> .....	79

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Quantidade de amostras paleobotânicas observadas por localidade e respectivas instituições depositárias. ....	18
<b>Tabela 2:</b> Comparação das características diagnósticas entre <i>G. obovata</i> (Carr.) White e <i>G. cyclopteroides</i> Feistm. (retirada e traduzida de Tybusch & Iannuzzi, em submissão).....	67
<b>Tabela 3:</b> Registros prévios das espécies e Interpretação taxonômica adotada neste trabalho.....	68
<b>Tabela 4:</b> Correlação das Glossopterídeas registradas nos afloramentos Sítio Itapema, SP (1), Acampamento Velho, RS (2), Faxinal, RS (3), Cerro do Chapéu, RS (4), Morro do Papaléo A, RS (5), São João do Triunfo, PA (6), Rio da Estiva, SC (7), Cambaí Grande, RS (8), Quitéria, RS (9), Morro do Papaléo B, RS (10), Bainha, SC (11) e Lauro Müller, SC (12).....	71

## SUMÁRIO

RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	3
LISTA DE FIGURAS .....	5
LISTA DE TABELAS .....	6
SOBRE A ESTRUTURA DESTA TESE .....	11
<b>PARTE I</b>	
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
3.1. Áreas de estudo .....	16
3.2. Estudo paleobotânico: levantamento e análise dos dados.....	17
4. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA .....	21
4.1. Bacia do Paraná .....	21
4.1.1. Grupo Itararé.....	22
4.1.2. Formação Rio Bonito.....	23
4.2. Aspectos da geologia local.....	24
4.2.1. Acampamento Velho.....	24
4.2.2. Faxinal.....	26
4.2.3. Cerro do Chapéu.....	27
4.2.4. Morro do Papaléo.....	29
4.2.5. Cambaí Grande.....	32
4.2.6. Quitéria.....	35
4.2.7. Rio da Estiva.....	36
4.2.8. Bainha.....	38
4.2.9. Lauro Müller.....	41
4.2.10. São João do Triunfo.....	41
4.2.11. Sítio Itapema.....	43
5. CONTRIBUIÇÕES PALEOBOTÂNICAS PRÉVIAS DAS ÁREAS DE ESTUDO... 45	45
5.1. Acampamento Velho.....	45
5.2. Faxinal.....	45
5.3. Cerro do Chapéu.....	46
5.4. Morro do Papaléo.....	47



5.5. Cambaí Grande.....	48
5.6. Quitéria.....	49
5.7. Rio da Estiva.....	51
5.8. Bainha.....	52
5.9. Lauro Müller.....	53
5.10. São João do Triunfo.....	55
5.11. Sítio Itapema.....	55
6. RESULTADOS .....	58
6.1. Análises dos resultados taxonômicos e estratigráficos.....	58
6.1.1. Reavaliação de <i>Gangamopteris obovata</i> var. <i>major</i> (Feistm.) Dolianiti.....	63
6.2. Fitoestratigrafia.....	69
6.2.1. Análise dos resultados fitoestratigráficos.....	71
6.3. Glossopteris & Gangamopteris: conceitos e definições.....	76
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

## PARTE II

Capítulo 1. “Reavaliação taxonômica dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Brasil”. GRACIELA PEREIRA TYBUSCH & ROBERTO IANNUZZI. *Rev. bras. paleontol.* 11(2):59-68, Maio/Agosto 2008.

Capítulo 2. “Nova espécie do gênero *Gangamopteris* no Permiano Inferior da Bacia do Paraná, rs, Brasil”. Graciela Pereira TYBUSCH, Roberto IANNUZZI, Heinrich Theodor FRANK. *São Paulo, UNESP, Geociências*, v. 28, n. 3, p. 295-303, 2009.

Capítulo 3. “*Glossopteris occidentalis* white emended: geographic and biostratigraphic implications”. GRACIELA PEREIRA TYBUSCH & ROBERTO IANNUZZI. *Rev. bras. paleontol.* 13(1):33-40, Janeiro/Abril 2010.

Capítulo 4. “Estudo das glossopterídeas do afloramento de Rio da Estiva, estado de Santa Catarina (Permiano Inferior da Bacia do Paraná)”. Graciela Pereira TYBUSCH, Roberto IANNUZZI & Oscar RÖSLER. *Pesquisas em Geociências*, 39 (1): 23-33, jan./abr. 2012.

Capítulo 5. “Reevaluation of glossopterids from Cambaí Grande Outcrop, RS (Lower Permian of Paraná Basin). Graciela Pereira TYBUSCH, Roberto IANNUZZI , Mary Elizabeth Cerruti BERNARDES DE OLIVEIRA & Ricardo da Cunha LOPES. IN: *Second Indo-Brazilian Symposium on Glimpses of Gondwana Research, Revista Geologia USP*, submetido.

Capítulo 6. “Absence of the genus *Rubidgea* in the tafloflora of Cerquilha, sp (Lower Permian of the Paraná Basin) and its biostratigraphic consequences”. Graciela Pereira TYBUSCH & Roberto IANNUZZI . *GEOBIOS*, em submissão.

### PARTE III

Anexo A. “Presença de *Glossopteris browniana* no topo do afloramento Quitéria, no Rio Grande do Sul (Permiano Inferior, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná)”. Boardman, D.R., Tybusch, G.P., Iannuzzi, R., Dutra, T.L. & De Lima. *Gaea*, 2: 9-17, 2006.

Anexo B. “Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná”. Iannuzzi, R., Scherer, C.M.S., Souza, P.A., Holz, M., Caravaca, G., Adami-Rodrigues, K., Tybusch, G.P., Souza, J.M., Smaniotto, L.P., Fischer, T.V., Silveira, A.S., Lykawka, R., Boardman, D.R. & Barboza, E.G. *In: Schobbenhaus, C. et al. (eds.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Volume II: 321-336, 2010.*

Anexo C. “New evidence of plant-insect interactions in the Lower Permian from Western Gondwana”. E.R.S. PINHEIRO, G.P. TYBUSCH AND ROBERTO IANNUZZI. *The Palaeobotanist* 61(2012): 67-74, 2012.

Anexo D. “Specificity of leaf damage in the Permian “*Glossopteris* Flora”: A quantitative approach”. Esther Regina de Souza Pinheiro, Roberto Iannuzzi, Graciela Pereira Tybusch. *Review of Palaeobotany and Palynology* 174 (2012) 113–121.

Anexo E. Cartas de submissão.

***Sobre a Estrutura desta Tese:***

Esta tese de Doutorado está estruturada em torno de artigos publicados em periódicos ou publicações equivalentes. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) **Parte I:** Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa do Doutorado, consiste na revisão bibliográfica referente ao escopo principal desta tese, apresentando as informações paleobotânicas e estratigráficas prévias para as áreas de estudo, bem como uma contextualização sobre os esquemas fitoestratigráficos vigentes para o intervalo eopermiano da Bacia do Paraná. São apresentados também os objetivos desta tese, além dos métodos empregados para o desenvolvimento do trabalho.
- b) **Parte II:** Artigos publicados em periódicos ou submetidos a periódicos com corpo editorial permanente e revisores independentes, ou publicações equivalentes (capítulo de livro de publicação nacional ou internacional com corpo de revisores independentes), escritos pela autora durante o desenvolvimento de seu Doutorado.
- c) **Parte III:** Anexos, compreendendo: artigo(s) nos quais a pós-graduanda é coautora e as cartas de submissão.

**PARTE I**

## 1. INTRODUÇÃO

Amplamente difundidas nos estratos do Permiano, as glossopterídeas são o principal elemento que constitui e caracteriza a denominada “Flora *Glossopteris*”, a qual dominou o supercontinente Gondwana neste período. Representam um grupo de plantas totalmente extinto que teria evoluído a partir de pteridospermas primitivas do Carbonífero, tendo se transformado em vegetais bem mais complexos e completamente distintos de todos os demais grupos de plantas. Apesar de muitos paleobotânicos acreditarem que as glossopterídeas possam representar uma linhagem basal que teria dado origem às angiospermas elas são, de fato, relacionadas ao grupo das gimnospermas, no qual estão colocados os pinheiros, as cicas e os ginkgos atuais (Chandra & Surange, 1979; Chandra & Singh, 1992).

Constituem-se no fósil vegetal mais abundante em todo o Gondwana, conseqüentemente, mais de 200 morfoespécies do gênero *Glossopteris* já foram descritas, em diversos países da África, Oceania e América do Sul, bem como na Índia e no continente Antártico (Stewart & Rothwell, 1993), baseadas, na maioria das vezes, exclusivamente na morfologia de impressões foliares.

Entretanto, apesar da grande quantidade de trabalhos publicados sobre a “Flora *Glossopteris*”, as folhas de glossopterídeas, principal elemento preservado nos depósitos desta flora, estão entre os macrofósseis vegetais ainda pouco resolvidos em termos de sua classificação taxonômica e nomenclatura, tendo sido seus morfogêneros definidos e redefinidos por vários autores ao longo do tempo, entre eles Brongniart (1828), Schimper (1869-1870), Feistmantel (1876, 1881), Arber (1905), Pant & Gupta (1968), Kovács-Endrödy (1976) e Chandra & Surange (1979).

O problema com a classificação das folhas de glossopterídeas resulta (i) da grande variedade de padrões de venação reticulados que apresentam verdadeiros “clinas” de um morfotipo a outro, (ii) das dificuldades na delimitação de características morfologicamente diagnósticas e (iii) dos problemas inerentes para se determinar as “morfoespécies” quando se tem em mãos apenas folhas isoladas, normalmente sem estrutura cuticular preservada ou frutificações conectadas. Quando se dispõe apenas de impressões foliares, a identificação de cada morfogênero de glossopterídea é baseada nas características do padrão de venação

(presença/ausência de venação mediana e tipo de venação secundária - com ou sem formação de anastomoses). A forma e tamanho foliar são feições que têm sido taxonomicamente relevantes apenas quando as morfoespécies apresentam um padrão de venação muito semelhante entre si (Chandra & Surange, 1979; Srivastava, 1991; Chandra & Singh, 1992).

Apesar destas dificuldades, as folhas e frutificações de glossopterídeas têm sido comumente utilizadas na bioestratigrafia em diversas seções permianas das bacias gondwânicas, uma vez que são compostas por várias espécies de ampla distribuição geográfica e amplitude estratigráfica definida (Chandra & Surange, 1979).

Quando adequadamente amostrado e entendido, o registro paleobotânico pode transformar-se em uma boa ferramenta de correlação, não somente em nível intra-bacinal, mas também inter-bacinal (Wagner, 1984). Para isto, o arcabouço de dados (listas taxonômicas), base para um trabalho bioestratigráfico, deve manter-se sempre completo, atualizado e disponível nas publicações para que possam ser utilizados posteriormente.

Em vista disto, tornou-se de suma importância a reanálise dos espécimes de folhas de glossopterídeas presentes em diversas localidades da Bacia do Paraná, bem como, a aquisição de novos dados sobre essas impressões foliares, com o intuito de atualizar o registro destes fósseis nos depósitos eopermianos e avaliar a sua utilidade para fins bioestratigráficos (Boardman *et al.*, 2006; Tybusch & Iannuzzi, 2008; 2010; em submissão; Tybusch *et al.*, 2009; 2012; submetido).

Deste modo, esta tese apresenta uma ampla revisão taxonômica dos macrofitofósseis de glossopterídeas realizada junto às coleções científicas depositárias, bem como, a partir de novas coletas, buscando: (i) atualizar os dados paleobotânicos em relação a estes fósseis e (ii) analisar as implicações bioestratigráficas, com base nos esquemas fitoestratigráficos disponíveis para esta porção da bacia.

## 2. OBJETIVOS

Esta tese teve como objetivo principal “o estabelecimento de critérios mais precisos sobre a classificação taxonômica das folhas de Glossopteridales, com especial ênfase à reavaliação daquelas do tipo “gangamopteróide”, a fim de determinar sua distribuição estratigráfica ao longo do intervalo do Permiano Inferior da Bacia do Paraná”, sendo apresentados como objetivos específicos:

- a) Reavaliação dos critérios morfológicos que diagnosticam os três morfogêneros de folhas de glossopterídeas presentes na Bacia do Paraná, i.é *Rubidgea* Tate, *Gangamopteris* McCoy e *Glossopteris* Brongn., compostos por várias espécies de ampla distribuição geográfica e/ou estratigráfica no Gondwana;
- b) Reavaliação taxonômica das formas previamente incluídas no gênero *Rubidgea*, visando estabelecer uma uniformidade na classificação das formas;
- c) Reavaliação taxonômica das formas previamente incluídas no gênero *Gangamopteris*, visando estabelecer uma uniformidade na classificação das formas;
- d) Reavaliação das características diagnósticas de *Glossopteris occidentalis*, visando uma emenda à diagnose original e ampliação da distribuição geográfica desta espécie;
- e) Estabelecer a amplitude estratigráfica das morfoespécies das folhas de glossopterídeas a partir dos afloramentos selecionados, a fim de auxiliar no desenvolvimento do arcabouço fitoestratigráfico da Bacia do Paraná.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Áreas de estudo

Tendo como principal objetivo resolver certos problemas taxonômicos referentes às glossopterídeas de alguns depósitos eopermianos da Bacia do Paraná, bem como, de apoiar uma análise bioestratigráfica mais precisa desses depósitos, selecionou-se alguns dentre os afloramentos mais estudados e importantes do ponto de vista paleobotânico. Deste modo, as localidades selecionadas pertencem a afloramentos situados nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, a saber: Acampamento Velho, Faxinal, Cerro do Chapéu, Morro do Papaléo, Cambaí Grande e Quitéria, no Rio Grande do Sul; Rio da Estiva, Bainha e Lauro Müller, em Santa Catarina; São João do Triunfo, no Paraná; e Sítio Itapema em São Paulo (Figura 1). É importante ressaltar que, para cada um destes afloramentos, procurou-se levantar dados (inéditos e/ou bibliográficos) referentes à Paleobotânica (com ênfase nas folhas de glossopterídeas) e Estratigrafia, visando um melhor posicionamento estratigráfico e correlação entre estas onze localidades analisadas.

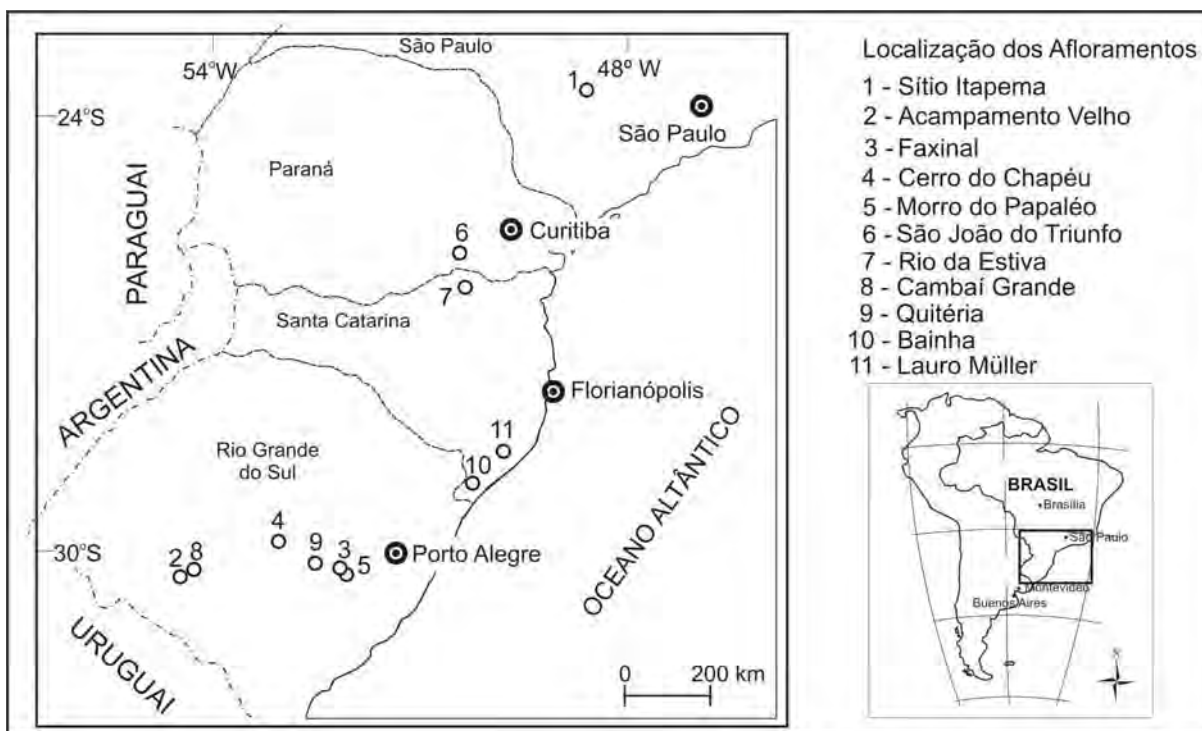


Figura 1. Mapa de localização dos afloramentos estudados.

### 3.2. Estudo paleobotânico: levantamento e análise dos dados

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de um levantamento do acervo paleobotânico, referente às localidades citadas no item 3.1, bem como, de amostras inéditas coletadas ao longo de atividades de campo. Foram observadas 3.549 amostras no total, sendo realizada uma revisão detalhada do material referente às folhas de glossopterídeas (1.036 amostras), o qual se encontra depositado nas seguintes coleções paleontológicas, sob os respectivos prefixos: (a) Museu de Paleontologia do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (MP-DPE-IGeo-UFRGS), RS, prefixo MP-Pb; (b) Laboratório de História da Vida e da Terra da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (LaViGaea-UNISINOS), em São Leopoldo, RS, prefixo ULVG; (c) Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (GSA-IG-USP), em São Paulo, SP, prefixo GP-3T; (d) Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (MN-UFRJ), RJ, prefixo MP-Pb; (e) Museu de Ciências da Terra do Departamento Nacional de Produção Mineral (MCT-DNPM), no Rio de Janeiro, RJ, prefixo DGP-MN Pb; (f) Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), em Lajeado, RS, prefixo PbU (Tabela1).

Uma ampla revisão bibliográfica dos registros paleobotânicos da Bacia do Paraná foi realizada previamente ao levantamento taxonômico junto às coleções, para a identificação taxonômica do material. A revisão dos espécimes ocorreu ao longo das diversas visitas técnicas às coleções depositárias, em que se buscou observar todas as amostras registradas para cada localidade, evitando assim qualquer perda de informação. Listas das espécies registradas em cada localidade foram confeccionadas e a frequência de cada gênero foi estimada. Amostras já publicadas, se necessário, foram reanalisadas do ponto de vista taxonômico, de modo a atualizar os dados sistemáticos. Como dito acima, amostras inéditas coletadas ao longo de atividades de campo realizadas nos afloramentos do Morro do Papaléo, Cambaí Grande, Quitéria, Rio da Estiva, Bainha, Lauro Müller e São João do Triunfo, também foram analisadas.

Tabela 1. Número de amostras paleobotânicas observadas por localidade, destacando-se as folhas de glossotperídeas, e respectivas instituições depositárias.

<b>Localidades</b>	<b>Instituições depositárias</b>	<b>No. Total de amostras</b>	<b>No. de amostras de glossotperídeas</b>
Acampamento Velho, RS	UFRGS	7	7
Faxinal, RS	UFRGS	13	13
Cerro do Chapéu, RS	UFRGS	3	3
Morro do Papaléo, RS	UFRGS, UNISINOS	758	114
Cambaí Grande, RS	UFRGS, UNISINOS	32	32
Quitéria, RS	UFRGS, UNISINOS, UNIVATES	630	152
Rio da Estiva, SC	MCT-DNPM, USP	326	121
Bainha, SC	UFRGS, MN-UFRJ, MCT-DNPM, USP, UNISINOS	1053	416
Lauro Müller, SC	USP	96	46
São João do Triunfo, PR	USP	302	26
Sítio Itapema, SP	MN-UFRJ, MCT-DNPM, USP	329	135

A fim de realizar a descrição e comparação dos espécimes, características morfográficas, tais como forma do limbo e tipos de ápice e de base foliar, foram definidas de acordo com a classificação adotada por Chandra & Surange (1979). Para obtenção das características referentes à densidade de venação, aos ângulos

de emergência e divergência da venação secundária e a largura máxima da venação mediana, foram utilizados os parâmetros e as técnicas descritas por Rohn *et al.* (1984). Com a finalidade de sistematizar, ou mesmo estimar, o tamanho foliar aproximado dos espécimes, foi empregada a classificação relativa às dimensões das áreas superficiais dos megáfílos, proposta por Ash *et al.* (1999), que é composta das seguintes categorias: leptófila ( $< 25 \text{ mm}^2$ ), nanófila ( $25\text{-}225 \text{ mm}^2$ ), micrófila ( $225\text{-}2,025 \text{ mm}^2$ ), notófila ( $2,025\text{-}4,500 \text{ mm}^2$ ), mesófila ( $4,500\text{-}18,225 \text{ mm}^2$ ), macrófila ( $18,225\text{-}164,025 \text{ mm}^2$ ) e megáfila ( $> 164,025 \text{ mm}^2$ ). Por último, a fim de definir precisamente os tipos de anastomoses presentes na venação da lâmina foliar dos espécimes estudados, levaram-se em consideração as três categorias de anastomoses, como estipuladas por Tybusch & Iannuzzi (2008), a saber: a) conexões oblíquas; b) conexões transversais (*cross-connections*); c) conexões em “X” (Figura 2). Segundo Tybusch & Iannuzzi (2008), as conexões oblíquas são aquelas originadas a partir da bifurcação, em ângulos agudos, de veias secundárias vizinhas que seguem paralelamente em direção à margem; as conexões transversais (*cross-connections*) são as originadas de veias transversais (subparalelas às veias medianas ou feixe central, ou em ângulos quase reto) que conectam veias secundárias vizinhas que seguem paralelamente em direção à margem foliar; enquanto que as conexões em “X” representam aquelas originadas do encontro ou cruzamento de veias secundárias vizinhas, que seguem paralelamente em direção à margem foliar.

A sistemática supragenérica utilizada neste trabalho segue a estabelecida por Stewart & Rothwell (1993).

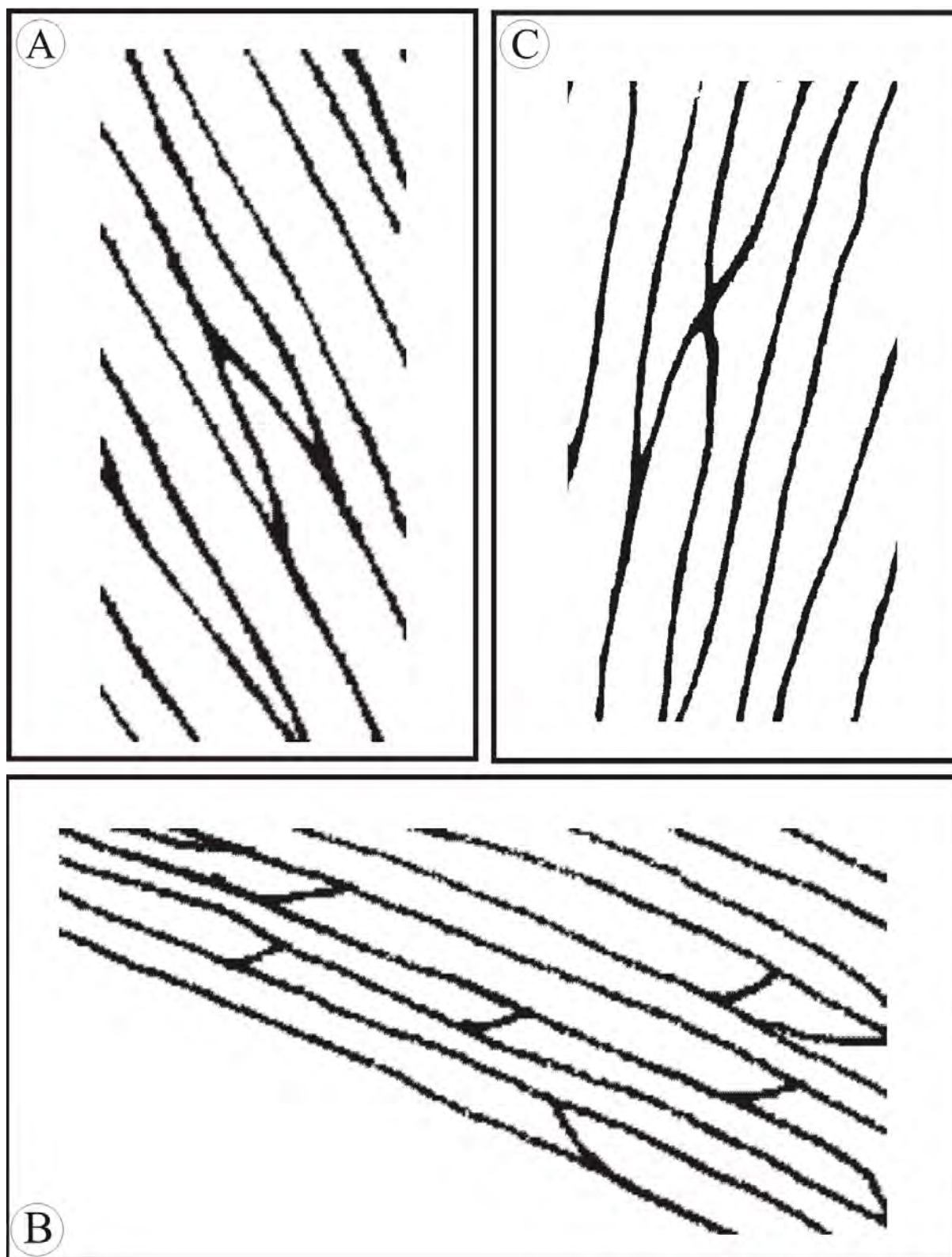


Figura 2. Tipos de anastomoses em folhas de glossopterídeas: A) conexão oblíqua; B) conexão transversal; C) conexão em “X” (retirado de Tybusch & Iannuzzi, 2008).

## 4. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

### 4.1. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma extensa região sedimentar situada em sua maior parte na porção centro-meridional da América do Sul, incluindo áreas geograficamente situadas no Brasil, oriente paraguaio, mesopotâmia argentina e norte do Uruguai, numa área total que se aproxima de 1.700.000 Km<sup>2</sup>, sendo que destes cerca de mil encontra-se em território brasileiro (Figura 3). Trata-se de uma bacia intracratônica, preenchida por cerca 6.200 m de sedimentos paleozóicos e mesozóicos, além de rochas vulcânicas mesozóicas (Schneider *et al.*, 1974; Milani, 1997). Segundo Milani (1997), a bacia compreende seis superseqüências, separadas por expressivas discordâncias (Figura 3), a saber: Rio Ivaí (Ordoviciano - Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero – Permiano), Gondwana II (Triássico), Gondwana III (Neojurássico- Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As três primeiras correspondem a grandes ciclos transgressivos-regressivos paleozóicos, enquanto as demais são representadas por pacotes de sedimentos continentais e rochas ígneas associadas de idade mesozóica.

As localidades aqui estudadas, referentes a depósitos Permianos da Bacia, correspondem a Superseqüência Gondwana I, que representa um grande ciclo transgressivo-regressivo, referente, litoestratigraficamente, ao Supergrupo Tubarão (Grupo Itararé, Formação Aquidauana, e Grupo Guatá, formações Rio Bonito, Palermo e Tatuí) de idades entre o Pensilvaniano e o Cisuraliano, e ao Grupo Passa Dois (formações Irati, Serra Alta, Corumbataí e Rio do Rasto), de idades entre o Cisuraliano e o Lopingiano (Holz *et al.*, 2010). Esta superseqüência é caracterizada por litologias heterogêneas, relativas a processos e ambientes de natureza distinta, com registros glaciais e pós-glaciais, de origem marinha, continental e transicional (Milani & Zalán, 1999).

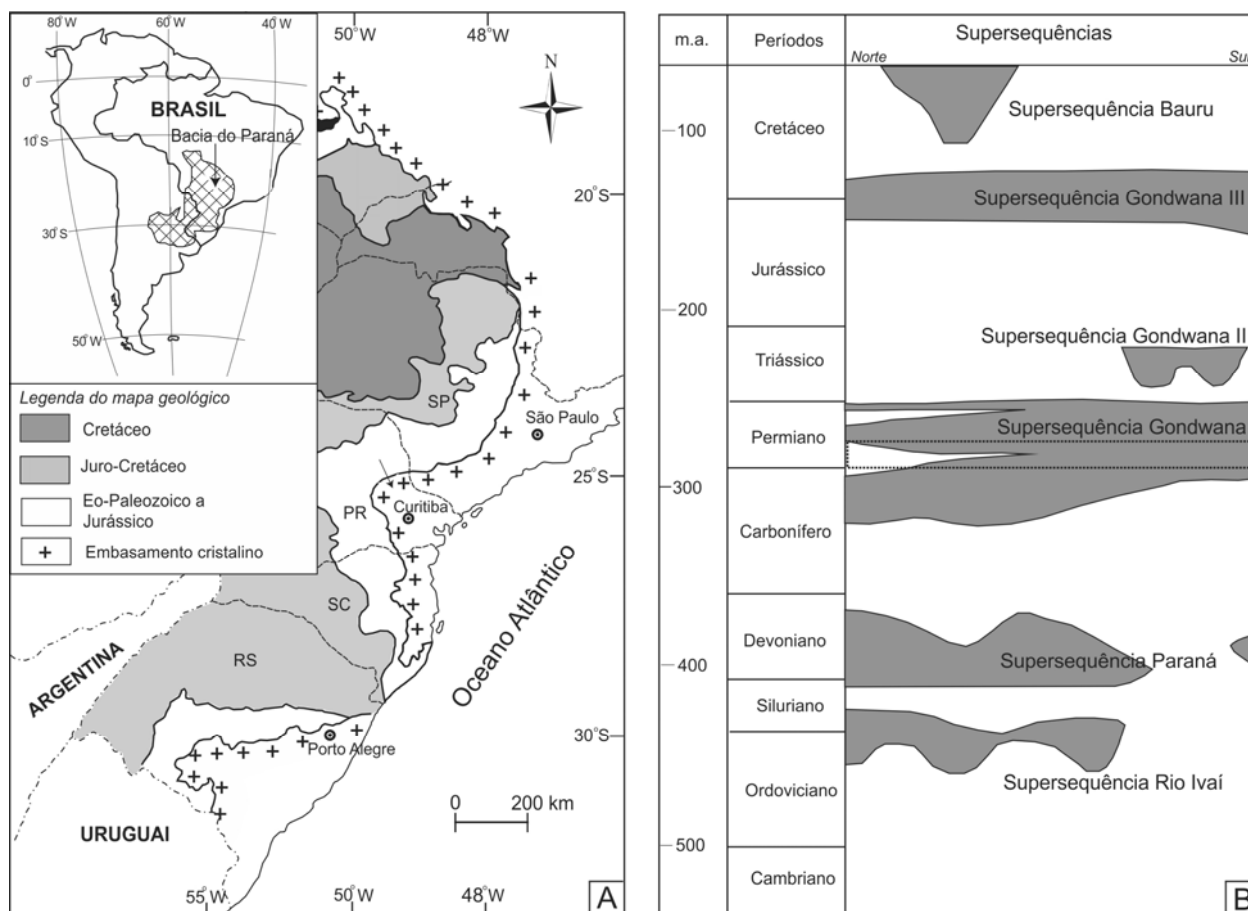


Figura 3. (A) Mapa de localização da Bacia do Paraná na região sul da América do Sul e (B) carta estratigráfica da Bacia do Paraná (modificado de Holz *et al.*, 2010). O retângulo pontilhado na figura B representa o intervalo estudado.

#### 4.1.1. Grupo Itararé

A unidade do Grupo Itararé compreende 1500 m de associações de fácies glacio-continentais e glacio-marinhas, constituídas principalmente por litologias clásticas incluindo diamictitos, arenitos, ritmitos, argilitos, folhelhos, conglomerados e camadas menores de carvão. O Itararé apóia-se diretamente sobre o embasamento pré-cambriano, ou em estratos referentes ao Cambriano/Ordoviciano das bacias Camaquã e Itajaí (no sul do Brasil), ou ainda, em estratos Devonianos do Grupo Paraná. A associação de fácies aponta para deposição predominantemente por processos de descarga, seguidos por resedimentação encosta abaixo, sedimentação por fluxos de gravidade, correntes de turbidez e alijamento de *tills* (Holz *et al.*, 2010).

França & Potter (1988) dividiram esta sucessão sedimentar dentro das formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba. No Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o nível superior do Itararé é constituído pela Formação Rio do Sul, que é subdividida pelos membros Budó, na base, e Suspiro, no topo. As fácies desta unidade indicam ambientes marinhos.

#### 4.1.2. Formação Rio Bonito

A formação Rio Bonito é considerada a unidade de camadas carbonosas da Bacia do Paraná. Algumas camadas de carvão, muito finas (<0,5 m) e lateralmente descontínuas, ocorrem em um sistema fluvio-deltaico interpretado por fácies compostas por ortoconglomerados e arenitos grossos a finos, com estratificações cruzadas planar e acanalada e ciclos granodecrescentes, cobertos por argilitos e carvão. Os interflúvios são caracterizados por fácies argilosas com camadas de carvão. Este intervalo fluvio-deltaico ocorre caracteristicamente na base da Formação Rio Bonito (Holz *et al.*, 2010).

Já as camadas de carvão com até 2,5 m de espessura e lateralmente contínuas (até 40 km), ocorrem em associação lateral com quartzo-arenitos e argilitos maciços ou laminados com camadas lenticulares e onduladas. As estruturas sedimentares ocorrentes nos arenitos são estratificações cruzada tabular e plano-paralela, muitos níveis com *flaser*, *drapes* de argilito, camadas onduladas e estratificação cruzada *hummocky* muito abundante, além de estruturas habitacionais cônicas de artrópodes ou em forma de U (icnofácies de *Skolithos*) (Holz, 1999).

As características destas associações faciológicas apontam para uma influência de ondas e marés de sistema estuarino evoluindo para um sistema deposicional de laguna-barreira (por exemplo, Holz, 2003) onde foram formadas as turfeiras atrás dos sistemas de ilhas-barreira.

A sucessão de depósitos fluvio-deltaicos e marinhos é subdividida em três grandes pacotes com a hierarquia de membros, denominadas da base para o topo: Triunfo (arenitos fluviais e costeiros), Paraguaçu (argilitos marinhos e arenitos de granulação fina) e Siderópolis (arenitos fluviais e costeiros). O Membro Paraguaçu (depósitos marinhos rasos) não é identificado na parte sul da bacia (Rio Grande do



Sul), onde a Formação Rio Bonito não é formalmente subdividida em membros (Holz *et al.* 2010).

## **4.2. Aspectos da geologia local**

### **4.2.1. Acampamento Velho**

O afloramento Acampamento Velho constitui-se de dois afloramentos principais denominados A e B. Estão localizados no município de São Gabriel (30°35'24"S e 53°57'W) e estão posicionados estratigraficamente no Grupo Itararé. O perfil A apresenta 6 m de estratos, constituídos por arenitos finos a siltitos apresentando laminação plano-paralela. Conforme Cazzulo-Klepzig *et al.*, (1980) o perfil B apresenta 40 m de espessura de arenitos grossos a conglomeráticos. A sequência estratigráfica se inicia com arcósios cinza-pardacentos, grossos, conglomeráticos, com estratificação cruzada que passam, mediante pulso acentuado, a siltitos cinza-claros com estratificação muito fina a fina, maciços, às vezes com laminação plano paralela a plano regular, com algumas intercalações de arenitos finos a médios em camadas tabulares maciças ou com laminação cruzada. Os níveis fossilíferos de ambos os perfis estão destacados na figura 4.

A seção inferior constituída por arcósios grossos corresponde a um ambiente de alta energia (fluvial ou glacio-fluvial). A pulsação observada no perfil determina a rápida implantação de um ambiente marinho calmo. As texturas finas, próximas ao limite areia-silte e a predominância de estratificação fina, às vezes laminada, indica condições de baixa energia. Ainda, a ausência de marcas de ondas e de estratificação cruzada bem desenvolvida indicaria uma influência escassa de marés. A faixa alongada dos afloramentos no sentido NW-SE e a sua extensão relativa, poderia representar um paleo-canal, onde o afloramento B estaria posicionado na parte central e o A numa área marginal (Cazzulo-Klepzig *et al.* 1980).

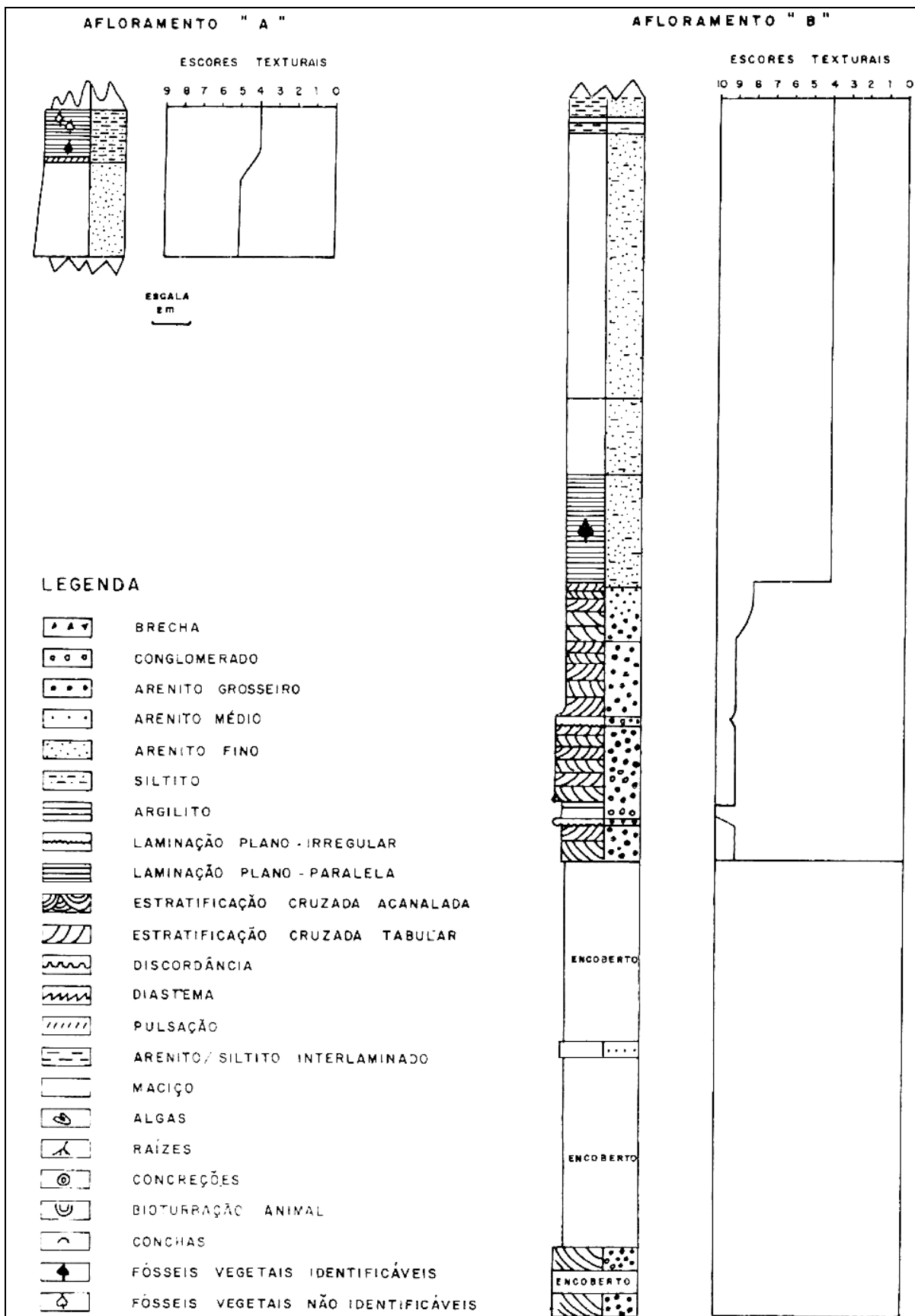


Figura 4. Perfil estratigráfico do afloramento Acampamento Velho (adaptado de Cazzulo-Klepzig et al., 1980)

#### 4.2.2. Faxinal

A sequência ilustrada na figura 5 corresponde à fácies areno-pelíticas do topo do Grupo Itararé na localidade de Faxinal (folha Barão do Triunfo), Rio Grande do Sul, próximo à confluência dos Arroios Grande e Faxinal, aproximadamente a 10 km de Mariana Pimentel. Nesta sequência foram reconhecidas duas fácies: a Branca e a Castanha, baseadas nas cores contrastantes, características litológicas e paleontológicas. Tanto a fácies branca como a castanha representam a etapa final de preenchimento dos extensos lagos com os quais termina o ciclo sedimentar do Grupo Itararé (Guerra-Sommer *et al.*, 1980).

Segundo Andreis *et al.* (1979), a fácies branca é basal e predominantemente pelítica, representando lagos rasos temporariamente expostos, com crescente influência de rios anastomosados pelo progressivo recuo dos lagos devido as mudanças climáticas. Já a fácies castanha é mais arenosa, depositada em cima da fácies branca, representando uma nova sucessão de periódicas expansões e contrações de lagos permanentes mais profundos, isto é, de menor influência fluvial.

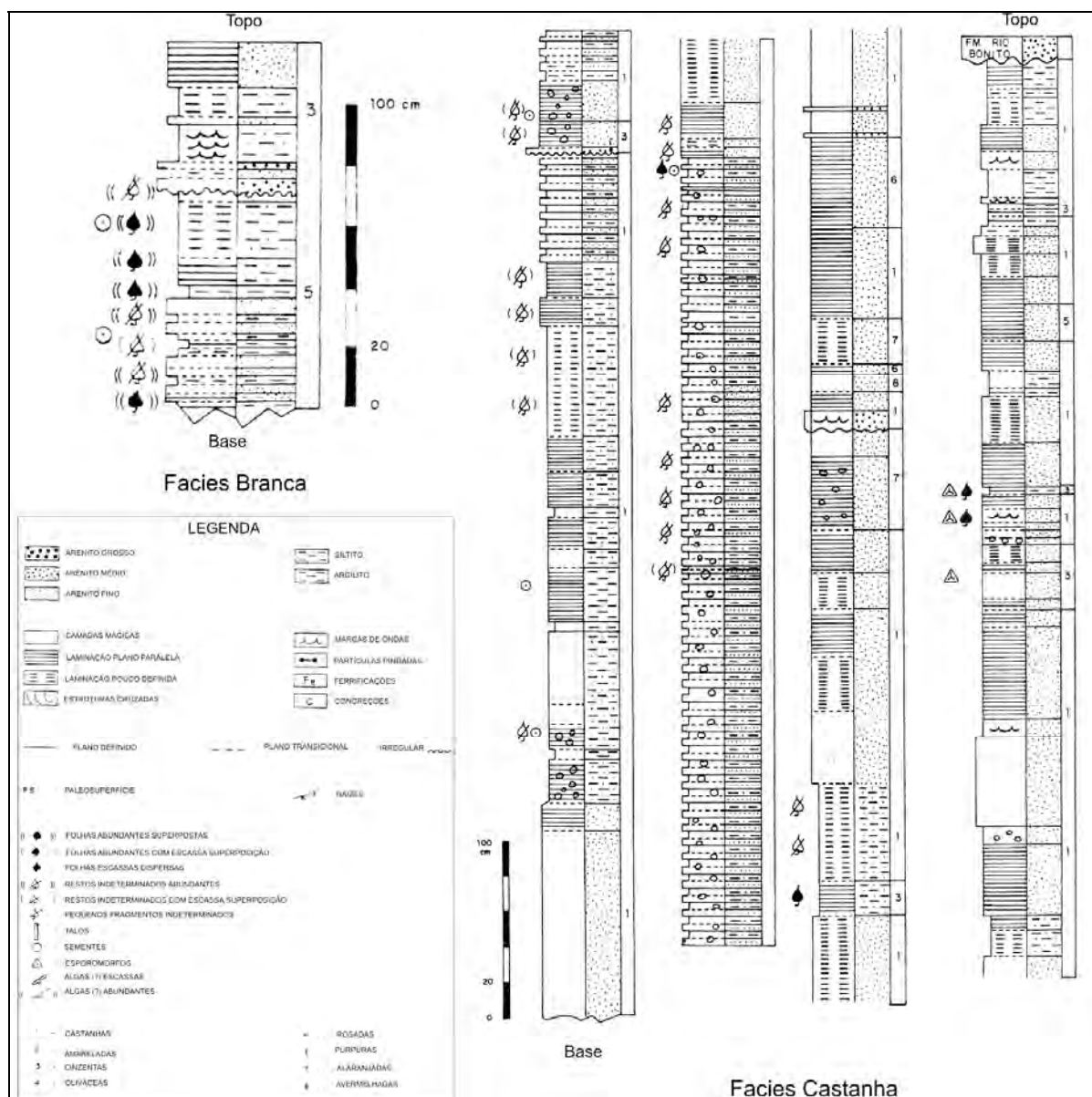


Figura 5. Perfil estratigráfico do afloramento de Faxinal (adaptado de Guerra-Sommer *et al.*, 1980).

#### 4.2.3. Cerro do Chapéu

O afloramento situa-se na localidade do Cerro do Chapéu, que fica ao sul da cidade de Cachoeira do Sul, no estado do Rio Grande do Sul. O material analisado foi coletado nas porções mais superiores do Grupo Itararé, consideradas de idade Eopermiana (Sakmariano tardio), que assentam discordantemente sobre os gnaisses tonalíticos do Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos, de idade Paleoproterozóico (2,26-2,0 Ga), nesta localidade (Hartmann *et al.*, 1999, 2000; Chemale Jr., 2000).

O perfil simplificado da exposição que contém os fósseis vegetais, relativo à seção aflorante do Gnaiss do Grupo Cerro dos Madeiras e do Grupo Itararé é

apresentado na Figura 6. Segundo Kuhn & Frank (1983), os depósitos do Grupo Itararé ocorrem como restos de uma “Bacia Residual” que capeiam em discordância angular os gnaisses subjacentes, sendo constituídos de conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos finos a grossos, siltitos e argilitos. Os megafósseis vegetais ocorrem, conforme os autores, em siltitos finos, brancos a cinza claro, formados de lâminas de até 10 cm de espessura, apresentando assim laminação plano-paralela incipiente, que ocorrem intercalados a arenitos e são compostos por quartzo e argilominerais, principalmente caulinita. Esses siltitos são interpretados como tendo sido gerados em um ambiente lacustre.



Figura 6. Perfil estratigráfico do Cerro do Chapéu (Tybusch *et al.* 2009).

#### 4.2.4. Morro do Papaléo

Situado 8 km a noroeste do centro do município de Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul e, cerca de 80 km de Porto Alegre, o afloramento Morro do Papaléo (30°021'S – 51°034'W) apresenta um registro ímpar da sucessão sedimentar e florística pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná (Iannuzzi *et al.*, 2006-SIGEP).

Devido, principalmente, ao grande interesse nos níveis aflorantes de carvão que ocorrem na região, o Morro do Papaléo já foi o enfoque de diversos estudos de cunho sedimentológico e estratigráfico (Pimentel & Godoy, 1983; Paim *et al.*, 1983; Piccoli *et al.*, 1983; Pasqualini *et al.*, 1986; Lavina *et al.*, 1992; Silveira, 2000). Além disso, o Morro do Papaléo apresenta de forma clara e didática a passagem Grupo Itararé/Formação Rio Bonito (Grupo Guatá), mostrando como ocorreu a evolução sedimentar dos ambientes pós-glaciais do topo do Grupo Itararé para aqueles geradores de carvões da Formação Rio Bonito. A seção inferior deste afloramento está assinalada no Grupo Itararé e a seção superior na Formação Rio Bonito conforme mostra a figura 9 (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; Iannuzzi *et al.*, 2010a).

O modelo paleoambiental apresentado por Silveira (2000) mostra que durante o Permiano inferior houve um período de glaciação seguido por um período inicial de degelo, caracterizando o paleovale, em um fiorde. O subsequente preenchimento do vale inciso foi atribuído ao Grupo Itararé. Esta parte da seção é composta principalmente de depósitos lacustres e lagunares associados com depósitos anteriores de pró-delta e delta (Piccoli *et al.*, 1983; Iannuzzi *et al.*, 2007).

A sequência sobrejacente de camadas carbonosas, depositada sob condições deltaicas e fluviais, é atribuída à Formação Rio Bonito. Segundo Paim *et al.* (1983), as condições paludais sobre uma planície aluvial favoreceram o acúmulo de sedimentos ricos em material orgânico, os quais correspondem aos carvões observados em parte da seção do Morro do Papaléo. Esta sequência de camadas carbonosas está intercalada com um sistema de lobos de *fan* delta, gerados após um evento transgressivo significativo na bacia. Iannuzzi *et al.* (2010b) considera este evento transgressivo como sendo superfície de inundação máxima associada com a Sequência 2. A parte superior da Mina do Morro do Papaléo contém uma seção de rochas interpretadas como depósitos formados em um sistema fluvial entrelaçado

(Paim *et al.*, 1983; Piccoli *et al.*, 1983; Iannuzzi *et al.*, 2003a,b). O contato entre os depósitos fluvial sobrejacente e *fan* delta subjacente é marcado por uma notável superfície erosiva, interpretada por Iannuzzi *et al.* (2010b) como o limite da Sequência 2 (= SB-3).

As associações vegetais encontradas na Mina do Morro do Papaléo ocorrem dentro de distintos níveis estratigráficos, correspondendo principalmente à seção lagunar/lacustre dos níveis inferiores (= Grupo Itararé, camadas N2, N3 e N4) e fácies fluviais dos níveis superiores (= Formação Rio Bonito, camadas N7 e N8, figura 7).

Ambas as camadas fossilíferas dos níveis superiores, denominadas como N7 e N8, são interpretadas como ocorrendo na parte mais basal da Sequência 3. Estas duas camadas distintas ocorrem como lentes de sedimentos finos separadas verticalmente em 3 a 4 m uma da outra e são intercaladas com o mesmo complexo de canais arenosos amalgamados. Dada a esta estreita relação vertical, elas são coletivamente denominadas como flora do Morro do Papaléo (Iannuzzi *et al.*, 2010a).

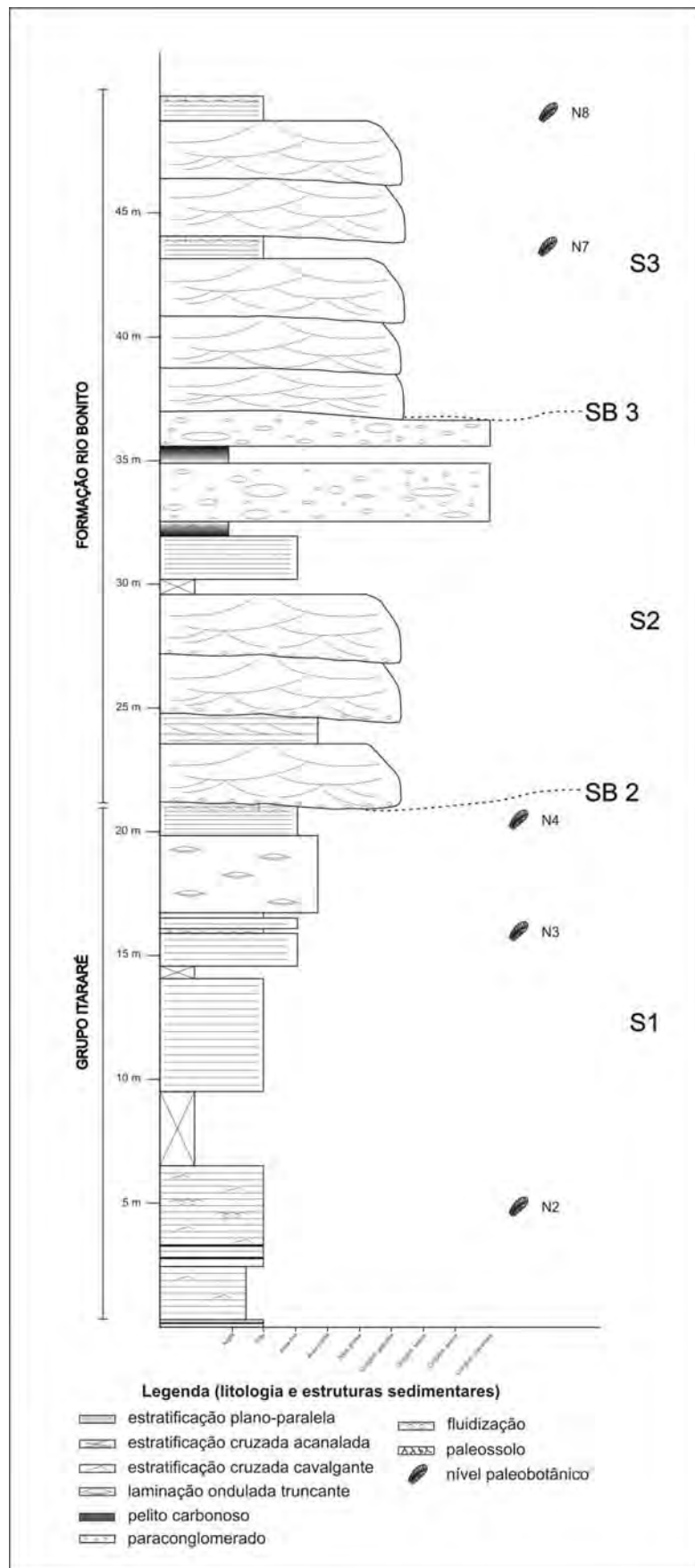


Figura.7 Perfil estratigráfico do Morro do Papaléo (adaptado de Iannuzzi *et al.* 2010b).



#### 4.2.5. Cambaí Grande

O afloramento de Cambaí Grande está localizado no Município de São Gabriel, no Estado do Rio Grande do Sul, e é conhecido pela ocorrência de uma associação fossilífera ímpar, composta de conchas de invertebrados marinhos e restos vegetais.

A sucessão de camadas neste afloramento, conforme Tybusch *et al.* (submetido), compreende aproximadamente 52 m de espessura ao longo da estrada de terra, considerando o embasamento da bacia na cota de 128 m, na descida da coxilha, em direção à ponte sobre o Arroio Cambaí Grande, e o topo da coxilha, a norte na cota 170 m. Os primeiros 12 metros encontram-se encobertos, aflorando a seguir 17,35 m de rochas sedimentares (Figura 8), iniciadas por uma camada de arenito arcoseano de granulação muito grossa, grãos angulosos com baixa esfericidade, e conglomerático, contendo grânulos e seixos de quartzo. Sucede-se então 0,70 m de pelito cinza claro e 3,60 m de seção encoberta. Acima, afloram 1,85 m de heterolito composto por siltito e lâminas e lentes de arenito quartzoso muito fino. Segue-se 0,40 m de arenito quartzoso fino a muito fino, com *drapes* de siltito e uma lente de 0,15 m de arenito quartzoso muito grosso a médio, acima do qual afloram 0,80 m de siltito arenoso, sucedido por uma camada de 0,65 m de heterolito alternando lâminas de arenito muito fino com lâminas de siltito cinza escuro. Esta é a camada onde foram coletadas, pelos autores, amostras da base contendo impressões de possíveis algas e sementes não identificadas (Tybusch *et al.*, submetido).

Acima da camada de siltito, afloram um conjunto de camadas amalgamadas, lenticulares alongadas, de arenito muito fino, com espessura de 0,48 m, sucedendo-se três camadas de siltito cinza claro, totalizando 1,27 m, os quais apresentam níveis de paleosolos incipientes sobrepostos (Tybusch *et al.*, submetido). A primeira camada de siltito cinza claro contém impressões de algas e moldes de conchas bivalves, constituindo-se por camadas tabulares amalgamadas. Já, as demais, são semelhantes ao siltito anterior, exceto pela ausência de fósseis.

Este pacote pelítico apresenta contato abrupto com camada superior de arenito quartzoso, médio a grosso, parcialmente laterizado e com 0,55 m de espessura, o qual é sucedido por uma camada de 1,65 m de arenito muito fino a

siltico, maciço e cores avermelhadas. Acima disso ocorre uma camada de arenito médio a grosso, com 1,65 m de espessura, quartzoso, composto por camadas lenticulares amalgamadas com espessuras médias de 8 cm, alongadas, maciças e com topo ondulado, intercalando *drapes* de siltito cinza com espessuras da ordem de 3 cm (Figura 8).

Vários autores que estudaram este afloramento posicionaram esta seção no topo do Grupo Itararé. Entretanto, as análises estratigráficas feitas no estudo de Tybusch *et al.* (submetido), juntamente com a análise de sondagens, indicaram que, na verdade, os estratos aflorantes de Cambaí Grande posicionam-se estratigraficamente no intervalo correspondente à porção médio-superior da Formação Rio Bonito. Estas fácies foram interpretadas como tendo sido geradas em ambiente marinho raso, localizado próximo à costa, inferidas pela presença de restos vegetais, representantes da flora terrestre, associados a organismos conchíferos, representantes de fauna marinha. Este depósito teria sido formado durante um evento transgressivo, possivelmente correspondente àquele assinalado no Membro Paraguaçu da unidade Rio Bonito. Neste sentido, conforme os autores, a afinidade taxonômica entre os pelecípodes de Cambaí Grande e os encontrados na “Fauna Taió”, proposta por Martins (1951), reforça o reposicionamento deste afloramento junto à Formação Rio Bonito e indica fortemente uma correlação com o evento transgressivo que gerou os depósitos da região de Taió, em Santa Catarina, os quais são posicionados no Membro Paraguaçu.

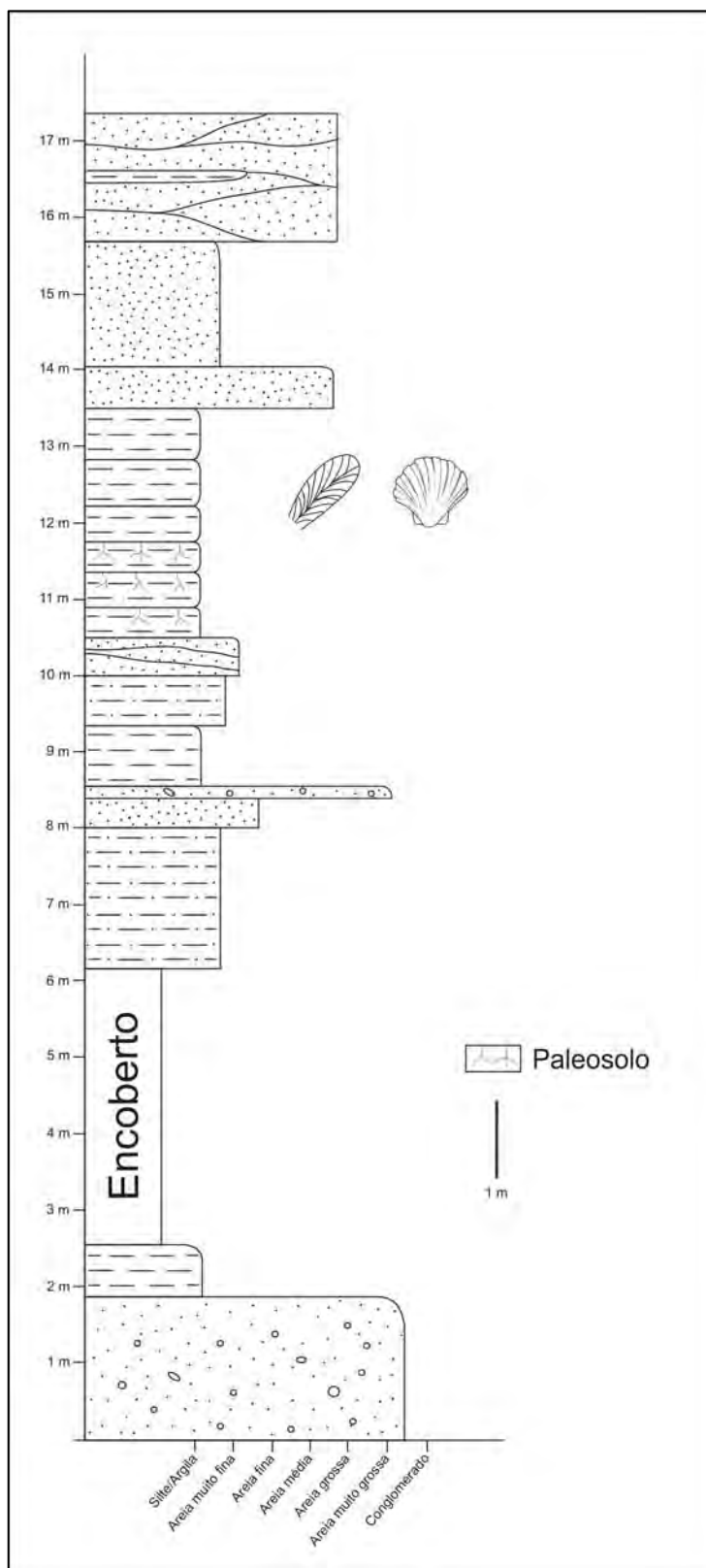


Figura 8. Perfil estratigráfico do afloramento Cambaí Grande (Tybusch *et al.*, submetido)

#### 4.2.6. Quitéria

Quitéria (30°20'17"S 52°10'12"W) corresponde a um único afloramento de 6-7 m de espessura contendo plantas fósseis. É uma antiga pedreira de caulim a céu aberto que localiza-se no município de Pântano Grande, Rio Grande do Sul, distando aproximadamente 130 km de Porto Alegre.

Os depósitos aflorantes na localidade, referentes à formação Rio Bonito, são constituídos em suas porções basal e média, por argilitos, siltitos carbonosos e finas camadas de carvão intercalados com paraconglomerados de matriz síltica ou argilosa. Na porção superior, sobrepondo uma camada de carvão, ocorre um nível porcelanítico com lentes de areia no seu topo e, acima deste, outro nível síltico. Paleossolos são recorrentes verticalmente. Em aproximadamente 1,2 m da seção, em um nível paraconglomerático, juntamente com paleossolos e estruturas bioturbadas, ocorre uma associação fitofossilífera, nomeada aqui como "Quitéria Base" (Figura 9). No porcelanito, com lentes de areia (a aproximadamente a 5 m da base), ocorre uma segunda associação de macrofósseis vegetais, designada como "Quitéria Topo" (Figura 9). Sobre esta sequência de sedimentos carbonosos e finos, em contato erosivo, ocorre aproximadamente 1 m de areia média a grossa com estratificação cruzada que, segundo Iannuzzi *et al.* (2010b), é correspondente ao limite de sequência de terceira ordem SB3 de Holz (1997; 1999) e Holz *et al.* (2000; 2006).

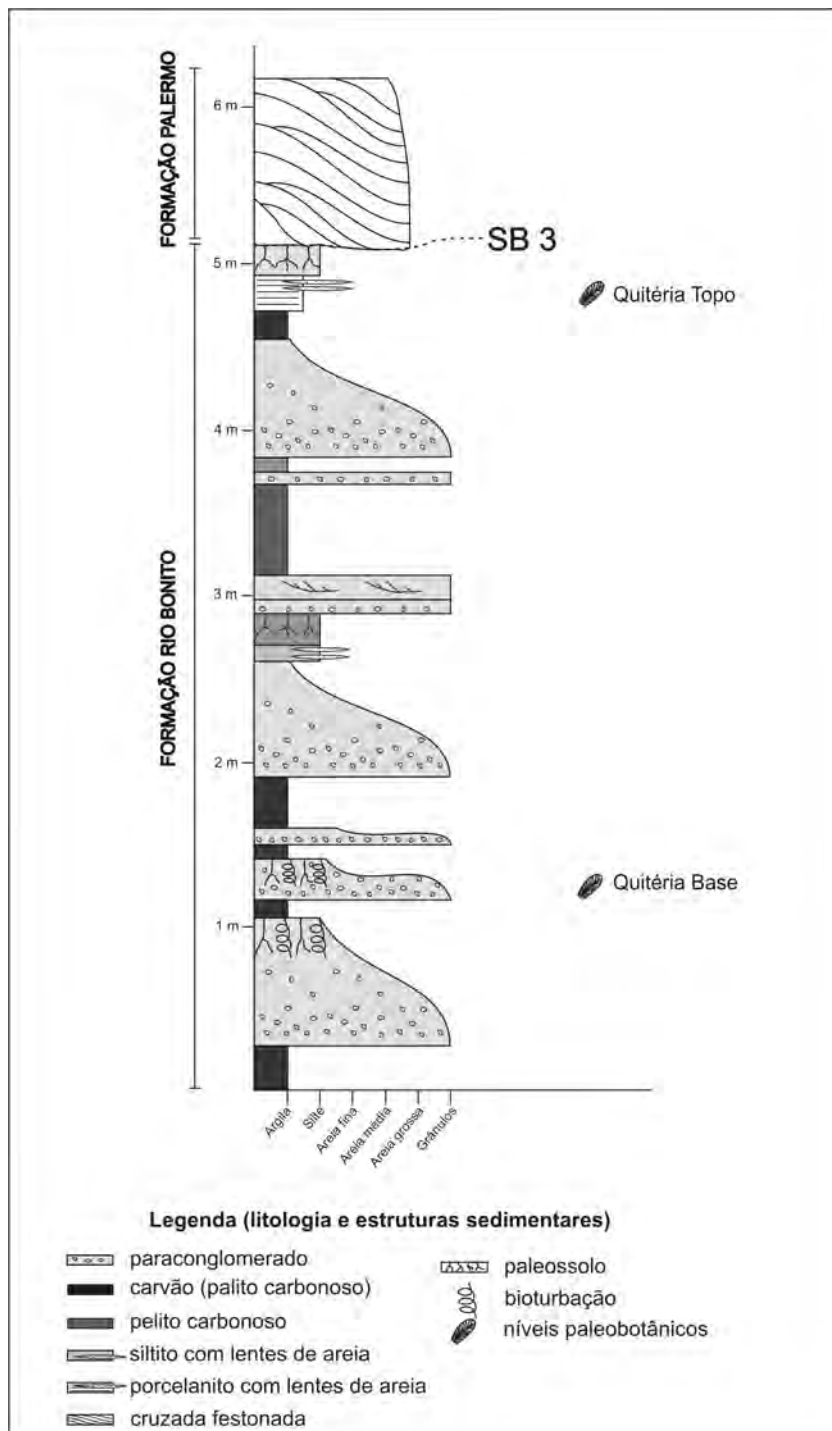


Figura 9. Perfil estratigráfico de Quitéria (Boardman, 2011).

#### 4.2.7. Rio da Estiva

O afloramento de Rio da Estiva está localizado à beira da rodovia BR 116, próximo ao Km 139 (trecho Mafra-Patanduva), no município de Itaiópolis, extremo norte do Estado de Santa Catarina.

A camada fossilífera, segundo Rösler (1975), com cerca de 60 cm de espessura, é formada, principalmente, por folhelhos argilosos com vários leitões carbonosos intercalados numa sequência de siltitos e argilitos (Figura 10), correspondente à porção média da Formação Rio Bonito. Segundo esta interpretação, o afloramento deveria estar posicionado dentro do Membro Paraguaçu, que se estende desde o terço basal até o limite do terço médio-superior da Formação Rio Bonito, conforme a seção-tipo estabelecida para esta unidade por Bortoluzzi *et al.* (1978) para Santa Catarina. Apesar disto, Rösler (1975) mencionou que a composição taxonômica seria mais próxima à do Membro Siderópolis, localizado na porção superior desta unidade.

Em termos de datação absoluta, pode-se apenas fazer uma inferência a partir das recentes datações radiométricas obtidas para níveis de tufos vulcânicos situados na porção média do Rio Bonito no Rio Grande do Sul. Estas análises indicaram uma idade Sakmariana média (início do Permiano) para a porção média desta unidade ( $290,6 \pm 1,5$  Ma, *in* Guerra-Sommer *et al.*, 2008), o que equivaleria, estratigraficamente, ao Membro Paraguaçu em Santa Catarina, conforme correlações já propostas por meio do uso da estratigrafia de sequências (Iannuzzi, 2010).

A variação na concentração de estratos carbonosos dentro da camada fossilífera, foi utilizada por Rösler (1975), como critério para um rápido e fácil reconhecimento de intervalos dentro da mesma. Com base neste critério, foram reconhecidas nessa camada cinco partes - ou intervalos - denominados, do mais inferior para mais superior, pelas letras A, B, C, D e E. Cada um destes intervalos teve sua litologia, aspectos gerais e conteúdo fossilífero discutidos pelo autor (Figura 10). Os níveis que contêm os fósseis estudados são o C e o E. O nível C mede 9 cm de espessura e é formado por folhelho argiloso com lentes muito finas de carvão. Nos níveis mais altos da parte C encontram-se as melhores impressões de folhas de *Glossopteris*. O nível E é mais espesso, com cerca de 29 cm, e inicia-se com um lente carbonosa. Compõe-se basicamente de siltito argiloso, com aspecto bandado, devido à alternância de várias colorações de estratos: chocolate (marrom; estratos com fósseis preservados sob a forma de impressões), escura e preta (estratos mais carbonosos) e amarelada (estratos menos fossilíferos). Entre a segunda e terceira

lente carbonosa, encontraram-se os melhores fósseis de glossopterídeas. Essa posição corresponde aos níveis situados a cerca de 15 cm da base do intervalo E.

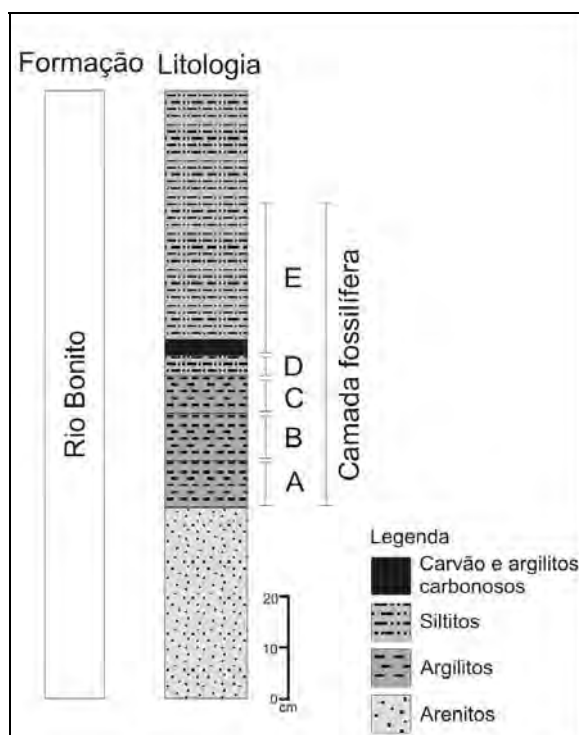


Figura 10. Perfil estratigráfico do afloramento Rio da estiva (Tybusch *et al.*, 2012)

#### 4.2.8. Bainha

Os afloramentos que contêm esta flora, denominados por Bernardes-de-Oliveira (1977, 1980) como "Bainha", "Bairro 20", "Hospital" e "São Marcos", apresentam cerca de 10m de espessura, exposta ao longo da encosta de uma pequena colina na área urbana do município de Criciúma, região de mineração de carvão no Estado de Santa Catarina. Todos estes afloramentos pertencem ao mesmo intervalo estratigráfico chamado de "Camada Irapuá" (Putzer, 1952). Esta é a terceira camada de carvão a partir da base do membro Siderópolis da Formação Rio Bonito.

A "Camada Irapuá" constitui-se litologicamente numa intercalação entre delgadas lentes de carvão e de siltitos-argilosos carbonosos, atingindo em média 2 a 3m de espessura. Os leitos de carvão da "Camada Irapuá" apresentam frequentemente marcantes descontinuidades laterais, podendo mesmo desaparecer quase que por completo, a exemplo do que acontece no afloramento Bainha.

Entretanto, é justamente nos níveis mais clásticos da "Camada Irapuá" que os megafósseis vegetais são encontrados com mais facilidade (Figura 11). As camadas contendo plantas fósseis consistem em siltitos-argilosos a arenitos finos a médios (Facies B e C de Iannuzzi, 2002), interpretados como depósitos de planície de inundação formados primariamente por deposição de suspensão e, secundariamente, por fluxos de baixa energia após os eventos de inundação. De acordo com Putzer (1952) e Krebs (2004), todas estas camadas foram geradas em um sistema de laguna/barreira, e/ou em um sistema fluvial de uma vasta planície costeira.



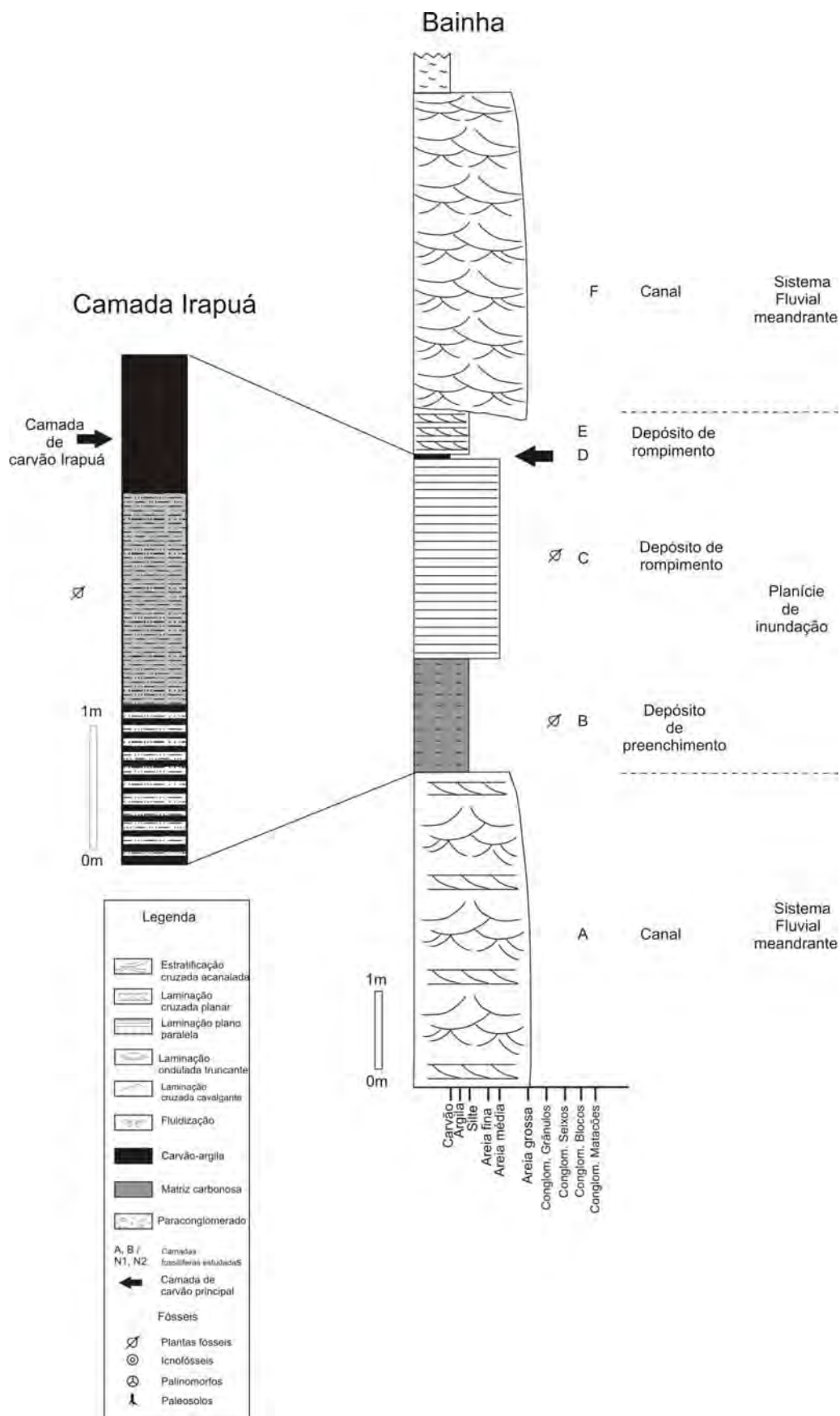


Figura 11. Perfil estratigráfico do afloramento Bainha (modificado de Iannuzzi, 2010).

#### 4.2.9. Lauro Müller

White (1908) foi o primeiro a citar Lauro Müller, comumente chamado de Minas. Mendes (1952) apresenta uma seção colunar da série Tubarão e horizontes de plantas fósseis organizadas de acordo com os dados de White (1908). Nesta seção estão posicionadas as 5 camadas de carvão que ocorrem na região carvoeira de SC (da base para o topo, Bonito, Ponte Alta, Irapuá, Barro Branco e Treviso) e os 3 Horizontes de Plantas Fósseis de Lauro Muller, estabelecido por White.

Rigby (1972b) citou os seguintes afloramentos, correlacionando-os com os dos trabalhos de White (1908) e Mendes (1952): JB - Horizonte Joaquim Branco, referente aos lotes 3586 e 3921 de White (1908), e a *Fossil Plants I* de Mendes (1952), situado na Estrada Nova (atual SC 438), a 3 km do município de Lauro Muller.

BB – Barro Branco: na rodovia de Lauro Muller – Barro Branco, de 0,5 – 1km, possivelmente abaixo do carvão Bonito.

P: sem detalhes, próximo a Palermo.

Fossil Plants I (Mendes, 1952) = Lotes 3586 e 3921 (White, 1908) = Horizont I

Fossil Plants II (Mendes, 1952) = Lotes 3923 (White, 1908) = Horizont II

Fossil Plants II (Mendes, 1952) = Lotes 3589 e 3922 (White, 1908) = Horizont III.

#### 4.2.10. São João do Triunfo

Os estratos que contêm esta flora estão expostos em estreitos cortes de estrada, situados a 8 km a nordeste do município de São João do Triunfo, na Rodovia PR-151, no Estado do Paraná (Rösler, 1972, 1979; Localidade 1 RB / PR de Rösler, 1978). Estes afloramentos consistem em estratos com aproximadamente 2 a 4 m de espessura, de argilitos-siltosos intercalados com arenitos de granulação fina. Camadas muito finas de carvão (1-10 cm de espessura) ocorrem na base de corpos de argilitos siltosos. As plantas fósseis encontram-se na sucessão de níveis sedimentares que recobrem diretamente as camadas de carvão, consistindo, da

base ao topo, de argilitos-carbonosos, argilitos-siltosos cinza-rosados, e siltes a arenitos de granulometria fina. (Rösler, 1972, 1979).

Rösler (1972, 1979) interpretou os ambientes deposicionais nos quais as plantas fósseis e as camadas de carvão foram depositadas como sub-ambientes de baixa energia ocorrendo dentro de planícies de inundação de um sistema de rio sinuoso. Por outro lado, Zacharias & Assine (2005), em um estudo mais regional, interpretaram a parte inferior da Formação Rio Bonito, no nordeste do Estado do Paraná como estuários de vales incisos.

Em termos de posicionamento estratigráfico, os afloramentos contendo a flora de São João do Triunfo estão posicionados na porção mais superior do Membro Triunfo (Iannuzzi, 2010), e foram depositados entre o final e o início de dois eventos transgressivos, durante a fase de nível de mar baixo (*lowstand sea-level* - LST2), Figura 12.

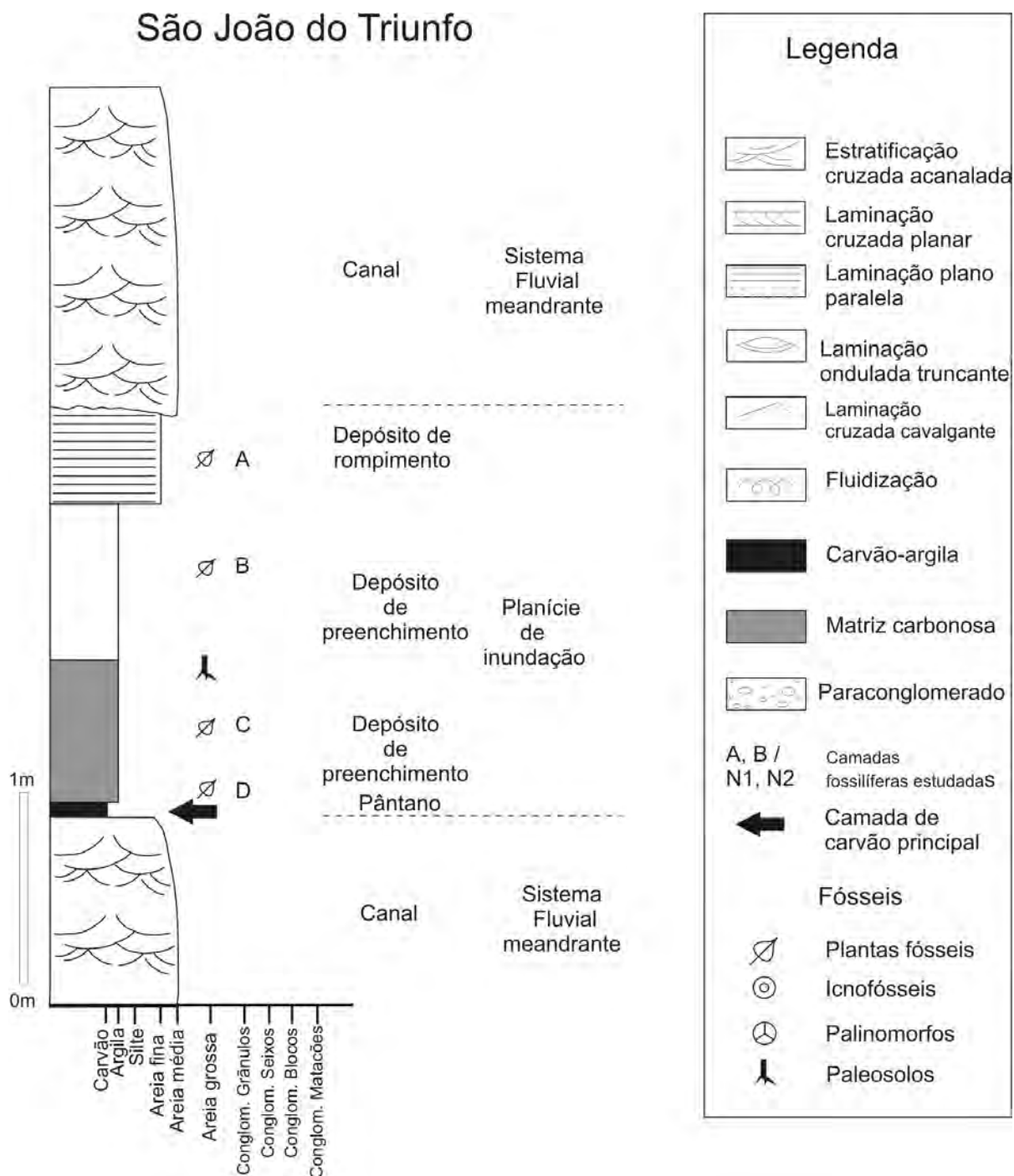


Figura 12. Perfil estratigráfico de São João do Trinfo (moficado de Iannuzzi, 2010).

#### 4.2.11. Sítio Itapema

O afloramento localiza-se no bairro de Cerquilha Velho, a 9 km de distância do centro do município de Cerquilha, na borda nordeste da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, a aproximadamente 120 km em direção NW da capital do

Estado. Estratigraficamente, o posicionamento deste afloramento não se encontra bem estabelecido, já que na literatura existem divergências em relação a essa questão. Nagali & Consoni (1984), Martini & Rocha-Campos (1991), Santos *et al.* (1996) e Rocha-Campos *et al.* (2000), entre outros, consideraram as “camadas hulheíferas” que contém as plantas fósseis do Sítio Itapema como o resultado de um processo de sedimentação desenvolvido em um cenário interglacial e, por conseguinte, estas seriam pertencentes ao Grupo Itararé. Alguns outros autores, como Perinotto (1987), Rohn (1987) e Fulfaro *et al.* (1991), consideraram os estratos da área do Sítio Itapema como pertencentes à Formação Tietê, de caráter pós-glacial e, portanto, correlacionáveis aos da Formação Rio Bonito, unidade presente nos estados da região sul do Brasil (estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul).

O material estudado correspondente à “Tafoflora Sítio Itapema”, que proveio do segundo nível fossilífero do afloramento, constituído por folhelhos (chocolate, negro) e siltitos (cinza) intercalados por arenitos finos (Figura 13).



Figura 13. Perfil estratigráfico do afloramento Sítio Itapema (adaptado de Millan & Dolianiti, 1982).

## 5. CONTRIBUIÇÕES PALEOBOTÂNICAS PRÉVIAS DAS ÁREAS DE ESTUDO

### 5.1. Acampamento Velho

A flora fóssil do afloramento Acampamento Velho começou a ser estudada na década de 50 por diversos autores (Martins & Sena Sobrinho, 1950; Dolianiti, 1954; Beurlen *et al.*, 1955), tendo seus estudos retomados apenas na década de 70 por Barcellos (1973) e Correa da Silva (1978). Alguns destes autores apenas citaram as formas da flora fóssil existentes sem descrevê-las, enquanto outros apresentaram um trabalho realmente descritivo.

Com base nestes estudos, Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980) realizaram uma ampla revisão bibliográfica deste afloramento e incluíram todas as formas apenas citadas ou descritas e, ainda, formas inéditas, culminando em um quadro de registros paleobotânicos para o Itararé do Rio Grande do Sul, onde citaram as seguintes formas: algas indeterminadas, *Phyllothea* sp., *Paracalamites* cf. *australis*, *Glossopteris* sp., *Glossopetris indica*, *Gangamopteris* sp., *Gangamopteris obovata*, *Gangamopteris angustifolia*, *Gangamopteris buriadica*, *Rubidgea* sp., *Noeggerathiopsis hislopi*, *Cordaites* sp., *Cordaites hislopi*, *Botrychiopsis plantianum* e *Botrychiopsis* sp.

Posteriormente, em uma revisão taxonômica realizada por Tybusch & Iannuzzi (2008), a espécie classificada e ilustrada por Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980) como *Rubidgea* sp. teve sua classificação alterada para *Gangamopteris revoluta*, bem como, a espécie *Gangamopteris* sp. identificada como *Gangamopteris obovata*.

### 5.2. Faxinal

Para a localidade de Faxinal, correspondente ao topo do Grupo Itararé, foram reconhecidas, informalmente, por Andreis *et al.*, (1979) duas fácies, a Branca e a Castanha, estabelecidas com base nas cores contrastantes e características litológicas. Segundo os autores, na Fácies Branca ocorrem impressões foliares enquanto, na Fácies Castanha predominam as carbonificações. Além disso, de acordo com Guerra-Sommer *et al.* (1980), os macrofósseis vegetais são mais

abundantes na fácies branca, não havendo, entretanto, em ambas as fácies, diferenciação qualitativa na composição da taoflora.

Em vista disto, uma listagem preliminar foi elaborada por Guerra-Sommer *et al.* (1980), apresentando a seguinte composição paleoflorística para as duas fácies: *Paracalamites* cf. *australis*, *Glossopteris* sp., *Cordaites* sp., *Buriadia* sp., *Rubidgea* sp., *Cordaicarpus* sp., *Samaropsis* sp. e *Gangamopteris* sp.

Após este estudo, Tybusch & Iannuzzi (2008), realizaram uma reavaliação taxonômica dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, para o Permiano Inferior da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul e concluíram que, na verdade, os espécimes classificados dentro do gênero *Rubidgea* (para localidade de Faxinal e demais afloramentos) apresentavam anastomoses ao longo da lâmina foliar (não correspondendo à diagnose original do gênero), dispendo-se melhor em *Gangamopteris*. Tais espécimes foram reclassificados como *Gangamopteris obovata*.

### 5.3. Cerro do Chapéu

O afloramento Cerro do Chapéu apresenta uma carência em estudos paleobotânicos, já que, para esta localidade existem apenas duas contribuições.

Kuhn & Frank (1983) identificaram previamente folhas de glossopterídeas mencionando a ocorrência de caules de *Paracalamites* sp. associados. Conforme estes autores, os megafósseis vegetais do afloramento Cerro do Chapéu ocorrem em siltitos finos, brancos a cinza claro, em camadas de até 10 cm de espessura, apresentando laminação plano-paralela incipiente, que ocorrem intercaladas aos arenitos.

Já Tybusch *et al.* (2009), a partir de um estudo sobre impressões foliares de três espécimes ocorrentes na localidade, observaram que estes apresentavam características distintas de qualquer outra espécie de *Gangamopteris* já descrita, erigindo assim uma nova espécie, *Gangamopteris sulriograndensis*.

#### 5.4. Morro do Papaléo

As associações florísticas referentes ao Afloramento Morro do Papaléo ocorrem dentro de distintos níveis estratigráficos, correspondendo principalmente aos níveis inferiores, fácies lagunar / lacustre (= Grupo Itararé, camadas N1, N2, N3 e N4) e aos níveis superiores, fácies fluvial (= Formação Rio Bonito, camadas N7 e N8).

Estas associações têm sido objeto de estudo de diversos pesquisadores ao longo do tempo e, isto se deve, principalmente, ao fato de a localidade apresentar uma grande área exposta, facilitando o acesso aos fósseis vegetais e a observação tridimensional de sua seção sedimentar. Corrêa da Silva & Arrondo (1977) e Corrêa da Silva (1978) realizaram os primeiros estudos sobre a tafoflora da região de Mariana Pimentel e localmente do Morro do Papaléo. Burjack *et al.* (1982) e Pasqualini *et al.*, (1986) descreveram o perfil estratigráfico completo e realizaram uma análise paleoecológica e tafonômica dos fósseis vegetais. Cazzulo-Klepzig & Guerra-Sommer (1983) realizaram uma ampla descrição do morfogênero *Phyllothea* se restringindo, contudo, a flora da seção inferior do afloramento correspondente ao Grupo Itararé.

Vieira & Iannuzzi (2000) e Iannuzzi *et al.*, (2003a, b), descreveram, pela primeira vez, a tafoflora presente nas camadas da seção superior, relacionadas com os depósitos fluviais da Formação Rio Bonito. Estes depósitos fluviais superiores contêm duas camadas fossilíferas, a N7 e N8 (Iannuzzi *et al.*, 2003a, b, 2006). Estas camadas registram a presença de folhas de gangamopterídeas, glossopterídeas, ginkgoaleanas e cordaitaleanas, bem como, folhas compostas de fetos, abundantes caules de licópsidas, como o *Brasilodendron pedroanum*, e sementes tipo *Cordaicarpus* e *Samaropsis*.

Nos últimos anos, estudos incluindo novas abordagens na seção do Morro do Papaléo têm se multiplicado. Utilizando as bases do modelo estratigráfico regional de Holz (1997; 1998), Iannuzzi *et al.* (2003a, b) aproveitaram a amplitude de informações que esta localidade disponibilizava para reavaliar a fitoestratigrafia da sequência gondwânica do Rio Grande do Sul. Desta forma, diversos grupos de plantas fósseis foram descritos ou reavaliados: pecopterídeas (Vieira *et al.*, 2007), sementes dos gêneros *Samaropsis* e *Cordaicarpus* (Souza & Iannuzzi, 2007; 2009),



folhas de glossopterídeas (Tybusch, 2005; Tybusch & Iannuzzi, 2008; 2010) e ramos de esfenófitas (Roesler *et al.*, 2008). Além disto, Adami-Rodrigues *et al.* (2004a; 2004b) e Pinheiro *et al.* (2012a; 2012b) registraram e analisaram as interações inseto-planta em folhas de *Glossopteris*, *Gangamopteris* e *Cordaites*.

Estes dados, aliados com os de outras localidades da região, permitiram a revisão do esquema fitoestratigráfico vigente para a porção sul da Bacia do Paraná (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993), incluindo novos táxons e ajustando a amplitude temporal de diversos táxons índices (Iannuzzi *et al.*, 2007a), ampliando a possibilidade de correlação com outras localidades típicas da Flora *Glossopteris* ao longo de toda a bacia (Iannuzzi *et al.*, 2010b).

## 5.5. Cambaí Grande

O afloramento Cambaí Grande é conhecido pela ocorrência de uma associação ímpar, composta de conchas de invertebrados marinhos e restos vegetais de alguns elementos da “Flora *Glossopteris*” preservados associados.

Em relação aos restos vegetais, Zingano & Cauduro (1959), Loczy (1964), Barcellos (1973), Pinto & Purper (1974), Dohms (1977) e Correa da Silva (1978) apenas citaram (sem identificar, descrever ou ilustrar) a ocorrência de restos de *Phyllothea*, *Gangamopteris* e *Glossopteris*, referindo-se aos registros paleoflorísticos feitos para esse afloramento por Pinto (1955).

Posteriormente, Cazzulo-Klepzig *et al.*, (1980a) discutiram o conteúdo paleoflorístico de diversos afloramentos considerados como sendo do Grupo Itararé, no Rio Grande do Sul, e apresentaram um quadro de registros paleobotânicos, modificado de Correa de Silva (1978), onde incluíram como conteúdo paleobotânico para o afloramento Cambaí Grande: algas indeterminadas, *Gangamopteris* sp., *G. obovata*, *G. angustifolia*, *G. buriadica*, *Cordaites* sp., *Cordaicarpus* sp. e um cone de gimnosperma não identificado. Ainda neste mesmo ano, Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980b) revisaram criticamente o conteúdo paleoflorístico de Cambaí Grande e, de modo amplo, apresentaram a composição geral da associação paleoflorística como sendo composta por *Gangamopteris* (55%), *Samaropsis* (18%), *Cordaites* (16%), algas não identificadas (10%) e uma frutificação (1%). Descreveram ainda, as

espécies *Gangamopteris angustifolia*, *G. buriadica* e *G. obovata*, além de formas atribuídas ao gênero *Cordaites* sp. No entanto, os autores apresentaram o mesmo quadro já publicado por Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980a). Posteriormente, Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1981) e Cazzulo-Klepzig & Guerra-Sommer (1985) também publicaram este quadro sem nenhuma alteração referente ao conteúdo paleoflorístico de Cambaí Grande.

Por sua vez, Tybusch & Iannuzzi (2008) ao realizarem a reavaliação taxonômica das formas incluídas nos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, encontradas em afloramentos do Grupo Itararé e da Formação Rio Bonito no Rio Grande do Sul, consideraram *Gangamopteris angustifolia sensu* Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980b, est.1, fig.8), descrita para o Afloramento Cambaí Grande, como sendo, na realidade, uma forma pertencente a nova espécie erigida pelos autores naquele trabalho, i.é *Gangamopteris revoluta*.

Até o trabalho de Tybusch *et al.* (submetido) o conteúdo paleobotânico levantado por diversos autores para o afloramento Cambaí Grande compreendia os gêneros *Gangamopteris*, *Samaropsis*, *Cordaicarpus* e *Cordaites*, além de restos não bem identificados, tais como frutificações, algas e um cone de gimnosperma. Este estudo, no entanto, confirmou a presença, pela primeira vez, do registro de uma forma vinculada ao gênero *Glossopteris* na paleoflora de Cambaí Grande (*Glossopteris* aff. *G. zeilleri*) e ainda reclassificou as espécies *Gangamopteris obovata*, *Gangamopteris buriadica* e *Gangamopteris angustifolia* respectivamente em *Gangamopteris cyclopteroides* e *Gangamopteris revoluta*, acrescentando, além disso, a espécie *Gangamopteris cf. mosesi* ao registro paleobotânico.

## 5.6. Quitéria

Fósseis vegetais que compreendem a flora de Quitéria foram relatados, pela primeira vez, por Guerra-Sommer (1989), que ilustrou alguns espécimes provenientes desta localidade, em trabalho sobre a caracterização da megaflore dos depósitos de carvão da Formação Rio Bonito no Rio Grande do Sul.

Posteriormente, conjuntos faciológicos com base em dados sedimentológicos (litofácies I a X) e da macro e microflora (biofácies A a J) foram descritos por Piccoli

*et al.*, (1991). Segundo os autores, no intervalo basal do afloramento ocorre a Litofácies VI, interpretada como uma planície de sistema deltaico com ambientes palustres formadores de turfeiras nas áreas baixas. Piccoli *et al.*, (1991) ainda reconheceram quatro biofácies (D–G) para a Litofácies VI, contudo, na seção aflorante de Quitéria, provavelmente, ocorre apenas as biofácies E a G. Na Biofácies E foi registrada uma densa associação de compressões de folhas e frutificações, com predomínio de glossopterídeas, seguidas de restos de esfenófitas estéreis (*Phyllothea*) e férteis.

Já nos níveis mais superiores, ocorre a litofácies VII, interpretada como depósito gerado pela ação de processos fluviais em planície deltáica. A Biofácies H é a única desta litofácies, e é composta por uma densa associação de moldes caulinares *in situ* (= em posição de vida) de licófitas arborescentes, além de compressões de frondes de prováveis Pteridophyta (*Rhodea* sp.), estruturas reprodutivas, impressões de folhas de glossopterídeas e raros ramos de coníferas. Além disto, conforme Piccoli *et al.*, (1991), um horizonte de paleossolo com pequenas raízes marca o final da sucessão fossilífera.

Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) posicionaram as porções inferior e superior do afloramento de Quitéria, respectivamente, na Subzona *Phyllothea indica*, da Zona *Botrychiopsis plantiana*, e na Zona *Glossopteris-Rhodeopteridium*, identificando, pela primeira vez, as bases de licófitas como *Brasilodendron pedroanum*, e as frondes como *Rhodeopteridium* sp. Após, Guerra-Sommer *et al.* (1995b) citaram a presença adicional de folhas de *Cordaites* sp. e *Glossopteris* sp. para o nível superior de Quitéria.

Baseado nos trabalhos de Piccoli *et al.*, (1991) e de Guerra-Sommer *et al.*, (1995b), as folhas de glossopterídeas (*Glossopteris* spp., *Gangamopteris* sp.) são os fósseis vegetais dominantes. Já folhas do tipo *Phyllothea* e do tipo *Cordaites* (*C. hislop*), frondes de pteridófitas (*Botrychiopsis plantiana*, *Rhodea* sp. = *Rhodeopteridium* sp.), estruturas férteis (*Arberia* sp., *Gondwanostachys australis* = *Giridia quiteriensis*) e sementes (*Samaropsis* sp., *Cordaicarpus* sp.) são menos comuns.

Jasper & Guerra-Sommer (1998; 1999) analisaram morfologicamente as bases caulinares de Lycopsida, tanto as preservadas horizontalmente ao plano de

acamamento, quanto as verticais em relação ao plano (*in situ*), que ocorriam na porção superior do afloramento Quitéria, atribuindo-as ao gênero *Brasilodendron*. Os autores interpretaram a associação *in situ* como um importante elemento na definição de modelos deposicionais. Junto a essas Lycopsida, Jasper *et al.*, (2003) descreveram o primeiro registro de *Botrychiopsis valida* para os sedimentos da Bacia do Paraná, associado a fragmentos esparsos de glossopterídeas (*i.é.*, *Rubidgea* sp. e *Glossopteris* sp.) e *Cordaite*s. Este achado suscitou a proposição de uma nova unidade fitoestratigráfica para o Permiano do Rio Grande do Sul, a Zona *Botrychiopsis*, dividida nas subzonas *Botrychiopsis plantiana* e *Botrychiopsis valida*.

Recentemente, novos táxons foram incorporados à associação fóssil do nível superior de Quitéria, tais como *Coricladus quiteriensis* (Jasper *et al.*, 2005), *Glossopteris browniana* (Boardman *et al.*, 2006) e uma licófita herbácea, *Lycopodites riograndensis* (Salvi *et al.*, 2008). Tybusch & Iannuzzi (2008) reinterpretaram o material descrito como *Rubidgea* para o Rio Grande do Sul, como folhas de *Gangamopteris* e incluíram em *G. buriadica* o material da porção superior de Quitéria, bem como aquele descrito como *Cordaite*s sp. por Jasper *et al.* (2003; 2005), documentado principalmente nas lentes de areia deste nível fossilífero. Por fim, Boardman & Iannuzzi (2010) reavaliaram estruturas reprodutivas de esfenófita, encontradas nos níveis basais do afloramento, descritas por Guerra-Sommer *et al.*, (1995a) como *Gondwanostachys australis*, e as classificaram como *Giridia quiteriensis*.

## 5.7. Rio da Estiva

A flora de Rio da Estiva, reportada pela primeira vez por Rösler (1975), foi caracterizada pela presença de folhas de *Glossopteris* (formas com até cerca de 20 cm de comprimento) e uma enorme quantidade de sementes, em concentrações estimadas pelo autor em mais de 10.000 exemplares/m<sup>2</sup>, além de frutificações e caules complementando sua composição. A lista de formas identificadas apresentou *Glossopteris* spp., *Samaropsis* sp., sementes indeterminadas, frutificações, caules indeterminados e prováveis folhas de licófitas. No entanto, o autor não identificou as folhas de glossopterídeas em nível específico, fazendo apenas um relato preliminar dessas formas. Após este trabalho pioneiro, Bernardes-de-Oliveira *et al.*, (2000)

apenas mencionam o conteúdo paleobotânico deste afloramento tão rico em glossopterídeas, acrescentando a esta lista a presença de frutificações de glossopterídeas do tipo *Ottokaria* e sementes do tipo *Cordaicarpus*

Já, em recente estudo, Tybusch *et al.* (2012) descreveram e classificaram os espécimes de *Glossopteris* em três morfoespécies distintas: *Glossopteris communis* Feistmantel, *Glossopteris* cf. *G. indica* Schimper e *G. occidentalis* White emend. Tybusch & Iannuzzi. Além disto, registraram pela primeira vez, a presença de impressões foliares que se enquadraram no morfogênero *Gangamopteris*, representado pela morfoespécie *Gangamopteris obovata* (Carr.) White 1908. A introdução deste novo elemento contribuiu para aumentar a diversidade da associação originalmente denominada por Rösler (1975) como “Tafoflora de Rio da Estiva”, no estado de Santa Catarina.

Por fim, conforme estudo de Pinheiro *et al.* (2012), um registro de folhas de glossopterídeas contendo danos por insetos foi observado no afloramento de Rio da Estiva. Três padrões de consumo foliar foram descritos: traços de alimentação marginal, traços de alimentação circular e de alimentação linear sobre lâmina. Os danos foram observados em folhas de *Glossopteris* sp., *Glossopteris communis*, *Glossopteris occidentalis* e *Gangamopteris obovata*. A evidência de consumo de tecidos foliares indica que as glossopterídeas eram herbivorizadas por insetos predominantemente com aparelho bucal mastigador.

## 5.8. Bainha

O primeiro estudo sobre as plantas fósseis da “Camada Irapuá” foi realizado por Dolianiti (1946). Desde então, vários trabalhos foram publicados por este mesmo autor durante os anos de 1940 e 1950 (Dolianiti, 1948; 1952; 1953a, b, c; 1954a, b; 1956a, b). Após, Bernardes-de-Oliveira (1980) e Iannuzzi (2002) fizeram uma ampla revisão destes estudos que discutem a “Camada Irapuá”. Já, Barbosa (1958) forneceu uma lista completa de todos os táxons descritos para esta camada de carvão até 1954. Rigby (1970), por sua vez, atualizou a lista de espécies até a década de 70. Posteriormente, os trabalhos mais importantes foram reavaliados por Bernardes-de-Oliveira (1969, 1977, 1980).

Os afloramentos que compõem a “Camada Irapuá” contêm o registro da chamada “Flora *Glossopteris* pura”, composta por uma associação com um pequeno número de táxons do hemisfério norte e uma total ausência de elementos tais como *Alethopteris*, *Sphenophyllum* e *Annularia* (Bernardes-de-Oliveira, 1980). Esta flora da “Camada Irapuá” corresponde a Tafoflora C de Rösler (1978), caracterizada pela predominância do gênero *Glossopteris*, juntamente com as folhas de glossopterídeas, e pela escassez de licófitas. O afloramento Bainha é considerado a localidade típica da Tafoflora C, denominada por Rösler (1978) como a localidade de “Criciúma”.

A “Camada Irapuá” destaca-se como o exemplo mais típico e diversificado da flora *Glossopteris* pós-glacial associada com depósitos de carvão encontrados nas unidades inferiores da supersequência Gondwana I da Bacia do Paraná. O afloramento Bainha, por exemplo, tem o maior número de táxons de plantas fósseis em toda a bacia, com a presença de até 70 diferentes táxons (Bernardes-de-Oliveira, 1980). Entre estes táxons encontram-se vários gêneros e espécies endêmicas, a saber: as espécies *Arberiopsis boureaui*, *Buriadia mendesii*, *Cordaicarpus rocha-camposii*, *C. irapuenses*, *Gangamopteris rigbyi*, *Glossopteris spathulato-cordata* var. *Dolianiti*, *Samaropsis bainhensis*, *S. cricumensis*, *S. millaniana*, *S. mendesii*, e os gêneros *Brasiliocladus*, *Notoangaridium*, *Notocalamites*, *Ponsotheca*.

Além disto, Bernardes-de-Oliveira (1980) elaborou uma análise quantitativa da flora da Camada Irapuá onde as folhas de *Glossopteris* foram consideradas dominantes (quase 50%). Estas foram seguidas em abundância por restos comumente atribuídos a plantas cordaitaleanas (incluídos neste grupo folhas do tipo *Cordaites* e sementes do tipo *Cordaicarpus* e *Samaropsis*) e, por raras ocorrências de *Sphenopteris* (frondes), *Paracalamites* (caules), coníferas e frutificações do tipo *Arberia* e *Arberiopsis*.

## 5.9. Lauro Müller

As plantas fósseis de Lauro Müller foram, primeiramente, relatadas por White (1908). Em seguida, Mendes (1952) listou as espécies encontradas por White (1908)

em três Horizontes, a saber: Horizonte 1 (camada Joaquim Branco), composto por *Rosellinites gangamopteroides* White, *Hysterites brasiliensis* White, *Phyllothea griesbachi* Zeiller, *P. muelleriana* White, *P. sp.*, *Glossopteris browniana* Brongniart, *Vertebraria ? sp.*, *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, *Arberia minasica* White, *Derbyella aurita* White, *Noeggerathiopsis hislopi* (Bunb.) Feist., *Cardiocarpon seixasi* White, *C. moreiranum* White, *Voltzia? sp.*; Horizonte 2, composto por *Equisetites calamitinoides* White, *Schizoneura? sp.*, *Sigillaria australis* White, *Sphenopteris hastata* McCoy, *Glossopteris indica* Shimper, *G. ampla* Dana, *G. occidentalis* White, *Noeggerathiopsis hislopi* (Bunb.) Feist., *Cardiocarpon? sp. e*; Horizonte 3, sendo composto por *Glossopteris browniana* Brongniart, *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, *Noeggerathiopsis hislopi* (Bunb.) Feist., *Cardiocarpon moreiranum* White e *Vertebraria sp.*

Após estes dois estudos pioneiros, Rigby (1970) fez uma revisão e apresentou algumas alterações das informações de White (1908) reclassificando alguns táxons, porém sem acrescentar novas espécies, para a localidade de Lauro Müller até próximo a Barro Branco. Já mais tarde, Rigby (1972a) descreveu duas espécies inéditas, até então, para esta localidade, *Arberia minasica* White, e *Arberia sp.*

Rigby (1972b) apresentou uma nova listagem de ocorrência das espécies onde citou espécies já conhecidas e descreveu novas espécies, a saber: *Lycopodiopsis sp.*, *Phyllothea griesbachi* Zeiller, *Schizoneura gondwanensis* Feist., *Paracalamites australis* Rigby, *Sphenopteris lobifolia* Morris, *Glossopteris browniana* Brongniart, *G. angustifolia* Brongniart, *G. ampla* Dana, *G. communis* Feist., *G. occidentalis* White, *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, *Vertebraria sp.*, *Arberia minasica* White, *Derbyella aurita* White, *Noeggerathiopsis spatulata* (Dana) Feist., *Walikalia millanii* Rigby, *Buriadia heterophyllia* (Feist.) Seward & Sahni, *Samaropsis seixasi* (White) Seward, *S. moreirana* (White) Dolianiti, *S. thomasii* Schopf, *S. mendesii* Rigby, *S. yoshidae* Rigby, *Cordaicarpus oliveiranus* (White) Millan.

Por fim, Rösler (1982) a partir de coleções de megafósseis vegetais depositados no Instituto de Geociências Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da Universidade de São Paulo listou as seguintes espécies: *Arberia sp.*, *Cordaicarpus oliveiranus* (White) Millan, *Gangamopteris obovata* (Carr.) White,

*Glossopteris* cf. *occidentalis*, *Noeggerathiopsis spatulata* (Dana) Feist., *Paracalamites australis* Rigby, *Phyllothea griesbachi* Zeiller, *Samaropsis thomasi* Schopf, *S. yoshidae* Rigby, *Schizoneura gondwanensis* Feist. e *Sphenopteris lobifolia* Morris.

### 5.10. São João do Triunfo

A presença de plantas fósseis próximas ao município de São João do Triunfo foi relatada pela primeira vez por Medeiros (1971). Posteriormente Rösler (1972; 1974; 1978; 1979), descreveu os afloramentos e estudou os fósseis vegetais neles contidos.

Rösler (1972; 1978; 1979) descreveu abundantes frondes de pecopterídeas bem preservadas e relativamente completas (*Asterotheca* spp. e *Pecopteris* spp.), folhas de esfenopsidas (*Sphenophyllum brasiliensis* e *Annularia* spp.), folhas de glossopterídeas (*Glossopteris communis*) e raros caules de licófitas (*Brasilodendron pedroanum*). Deste modo, esta flora corresponde à típica “Tafoflora” B de Rösler (1978) situada nas porções média a basal da Formação Rio Bonito.

Após duas décadas, Vieira *et al.*, (2007) revisaram as frondes de pecopterídeas, indicando pela primeira vez, a presença de *Pecopteris pedrasica*. Recentemente, Iannuzzi (2010) publicou uma revisão sobre as floras do Permiano Inferior da Bacia do Paraná no Brasil, incluindo entre estas, a localidade de São João do Triunfo. Nesta revisão Iannuzzi (2010) apresenta uma tabela atualizada com os táxons encontrados nestes afloramentos. Assim, a composição desta tafoflora se constitui de, *Brasilodendron pedroanum*, *Annularia occidentalis*, *Annularia readi*, *Paracalamites australis*, *Phyllothea* sp., *Sphenophyllum brasiliensis*, *Asterotheca derby*, *Asterotheca* sp, *Pecopteris pedrasica*, *Pecopteris* sp., *Sphenopteris* cf. *S. lobifolia*, *Gangamopteris* cf. *G. obovata*, *Glossopteris communis* e *Glossopteris* sp.

### 5.11. Sítio Itapema

A tafoflora de Sítio Itapema vem sendo estudada desde sua descoberta (Dolianiti & Millan, 1973) por diversos autores Millan (1977; 1991; 1995), Millan &



Dolianiti (1977; 1979; 1980a, b; 1981; 1982), Iannuzzi & Rohn (1995), Ricardi-Branco *et al.*, (1999), Bernardes-de-Oliveira *et al.* (1999), Rohn & Lages (2000), Martins Neto *et al.* (1999, 2000), Ricardi-Branco & Bernardes-de-Oliveira (2000) e Salvi *et al.* (2008).

Os elementos desta taoflora compreendem basicamente sphenopsidas, Cordaitales, abundantes sementes (*Cornucarpus cerquilhensis*, *Samaropsis rigbyi*, *Samaropsis dolianitii* e *Samaropsis tietensis*), protoglossopterídeas (?), glossopterídeas e lycopsidas.

Entre as protoglossopterídeas(?), Millan & Dolianiti (1982) descreveram e identificaram quatro espécies do gênero *Rubidgea*, a saber: *R. obovata* e *R. lanceolata*, e duas espécies novas, *R. lanceolata* var. *truncata* e *R. itapemensis*. Neste trabalho, os autores propuseram ainda uma emenda à diagnose original do gênero *Rubidgea*, erigida por Tate (1867), com ênfase na adição de caracteres relativos ao formato foliar, *i.é* forma do limbo, do ápice, da base e contorno das margens.

A primeira ocorrência de elementos da flora *Glossopteris* foi registrada por Millan (1989) que assinalou a presença do gênero *Gangamopteris* identificando quatro espécies: *G. obovata*, *G. angustifolia*, *G. dolianitii* e *G. stephensonii*. Rohn *et al.*, (2000) apenas mencionaram e ilustraram com fotos a ocorrência de espécimes referentes aos gêneros *Rubidgea* e *Gangamopteris*. Já o gênero *Glossopteris* foi noticiado, pela primeira vez nesta taoflora, por Iannuzzi & Rohn (1995), não tendo, entretanto, sido realizada a identificação e descrição da espécie pelos autores.

Ricardi-Branco & Bernardes-de-Oliveira (2000) propuseram uma nova espécie referente ao gênero *Gangamopteris*, *e.g.* *G. roesleri*, após o estudo de um só espécime preservado na forma de impressão composta por dois fragmentos (parte e a contra-parte).

Já espécimes do gênero *Lycopodites*, *Lycopodites* sp. (coletado em Sítio Itapema) juntamente com *Lycopodites riograndensis* (coletado no estado do Rio Grande do Sul), representaram as formas férteis mais antigas registradas para o Gondwana e as primeiras a serem descritas para a Bacia do Paraná (Salvi *et al.*, 2008).

Recentemente, Tybusch & Iannuzzi (em submissão) observaram que os espécimes descritos e classificados por Millan & Dolianiti (1982) em *Rubidgea* apresentavam anastomoses ao longo da lâmina foliar, não correspondendo à diagnose original do gênero, inserindo-se, deste modo, melhor no gênero *Gangamopteris*. Sendo assim, os espécimes atribuídos a *R. obovata* e *R. lanceolata* foram reclassificadas em *Gangamopteris obovata*, os descritos para *R. itapemensis* em *G. buriadica* e os considerados como *R. lanceolata* var. *truncata* em *Gangamopteris* cf. *G. revoluta*. Deste modo, os autores alegaram que o gênero *Rubidgea* estaria provavelmente ausente dos depósitos permianos do estado de São Paulo, bem como acontece no Rio Grande do Sul.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Análises dos resultados Taxonômicos e Estratigráficos

Esta tese buscou apresentar a integração entre trabalhos já publicados desde o século XIX (Carruthers, 1869) e publicações mais recentes (Boardman *et al.*, 2006; Tybusch & Iannuzzi, 2008; 2010; em submissão; Tybusch *et al.*, 2009; 2012; submetido) sobre o elemento mais importante da “Flora *Glossopteris*”, as folhas de Glossopteridales (com especial ênfase às “gangamopteróides”), para o intervalo do Permiano Inferior da Bacia do Paraná no Brasil. Para isto, foram selecionadas as localidades consideradas mais importantes do ponto de vista paleobotânico, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, e sua composição taxonômica foi revisada e estudada (material já estudado depositado nas coleções e material inédito – vide item **3. Material e Métodos**).

Com estes novos estudos foi possível constatar que espécimes anteriormente classificados no morfogênero *Rubidgea*, provenientes de diversos afloramentos do Permiano Inferior da Bacia do Paraná, no Estado do Rio Grande do Sul, não correspondiam à diagnose original do gênero por apresentarem anastomoses ao longo da lâmina foliar. Estes foram então realocados dentro do morfogênero *Gangamopteris*, por apresentarem anastomoses entre as veias (formando malhas) e pela ausência de uma nítida venação mediana. Assim, o morfogênero *Rubidgea* foi considerado ausente em depósitos eopermianos do Rio Grande do Sul (Tybusch & Iannuzzi, 2008).

Além da inclusão de todos os fósseis sul-rio-grandenses anteriormente classificados como *Rubidgea* em *Gangamopteris*, foi proposta uma classificação dos espécimes deste último gênero em sete morfoespécies (*Gangamopteris obovata*, *G. obovata* var. *major*, *G. buriadica*, *G. revoluta*, *G. cyclopteroides*, *G. sulriograndensis*, *G. aff. G. mosesi*), distribuídas em distintos níveis estratigráficos em localidades eopermianas do Rio Grande do Sul (Tybusch & Iannuzzi, 2008; Tybusch *et al.*, submetido; presente tese).

*Gangamopteris revoluta*, espécie erigida como consequência da revisão do morfogênero *Rubidgea* e que teve sua presença originalmente assinalada para o afloramento Morro do Papaléo, foi também encontrada nos afloramentos

Acampamento Velho e Cambaí Grande (Tybusch & Iannuzzi, 2008; Tybusch *et al.*, submetido; presente tese), correspondentes respectivamente ao topo do Grupo Itararé e a porção médio-superior da Formação Rio Bonito, sugerindo assim um intervalo Sakmario tardio-Artinskiano precoce para ocorrência da espécie (Holz *et al.*, 2010; Iannuzzi, 2010).

Ainda, no trabalho Tybusch & Iannuzzi (2008), *Gangamopteris buriadica* Feistmantel teve sua distribuição estratigráfica ampliada, para a porção médio-superior da Formação Rio Bonito, devido a sua ocorrência no topo do Afloramento de Quitéria (antes restrita ao topo do Grupo Itararé). Já *Gangamopteris obovata* (Carr.) White teve sua amplitude estratigráfica estendida no estado até a porção médio-superior da Formação Rio Bonito, dada sua presença no topo do Afloramento Morro do Papaléo (nível fossilífero 8).

Tybusch *et al.* (2009) publicaram, pela primeira vez, megafósseis vegetais provenientes do afloramento Cerro do Chapéu, situado no município de Cachoeira do Sul, Estado do Rio Grande do Sul, coletados previamente (Kuhn e Frank, 1983) em estratos das porções superiores do Grupo Itararé. As impressões foliares estudadas foram incluídas no gênero *Gangamopteris* e foram classificadas em uma espécie nova, *Gangamopteris sulriograndensis* Tybusch, Iannuzzi, Frank. Este novo táxon foi considerado como pertencente à Zona de Associação *Botrychiopsis plantiana*, por ser encontrado dentro do Grupo Itararé, de acordo com o zoneamento fitoestratigráfico originalmente estabelecido por Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) e recentemente atualizado por Iannuzzi *et al.* (2007). Mais especificamente, *G. sulriograndensis* mostrou-se uma forma restrita à Subzona *Phyllothea indica* (segundo Iannuzzi *et al.*, 2007), por ocorrer no topo do Grupo Itararé, onde é comum encontrarem-se apenas impressões de vegetais fósseis, uma vez que os depósitos deste intervalo não apresentam nenhuma matéria orgânica preservada.

Já o conteúdo paleobotânico levantado por diversos autores para a localidade de Cambaí Grande, no Rio Grande do Sul, compreendia até o momento a presença dos morfogêneros de folhas do tipo *Gangamopteris* e *Cordaites*, afora as sementes (*Samaropsis*, *Cordaicarpus*), os restos não identificados atribuídos a algas e a um cone de gimnosperma. No entanto, Tybusch *et al.* (submetido) confirmaram o primeiro registro de folhas do tipo *Glossopteris* (*Glossopteris* aff. *G. zeilleri*), na

paleoflora de Cambaí Grande, além da ocorrência, pela primeira vez, da espécie indiana *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel.

Apesar da ocorrência de formas atribuíveis à *Glossopteris*, verificou-se em Cambaí Grande o predomínio de formas vinculadas ao gênero *Gangamopteris* entre as folhas de glossopterídeas, tanto em número de morfoespécies quanto de espécimes coletados (Tybusch *et al.*, submetido). Este domínio de folhas de *Gangamopteris* sobre as de *Glossopteris* é tipicamente registrado em associações encontradas no Grupo Itararé e tem sido utilizada como indicador de maior ancestralidade e/ou posicionamento stratigráfico inferior dentro da sucessão da “Flora *Glossopteris*”, tanto na Bacia do Paraná (Rösler, 1978; Bernardes-de-Oliveira, 1980; Iannuzzi e Souza, 2005) quanto na Índia, onde esta mesma relação de dominância é assinalada nas formações Talchir, Karhabari e porção inferior da Barakar (Chandra, 1991; Maheshwari, 1991; Maheshwari e Bajpai, 2001; Srivastava e Agnihotri, 2010).

Porém, segundo Tybusch *et al.* (submetido), a quantidade de restos vegetais recuperados no afloramento de Cambaí Grande é extremamente pequena. Deste modo, é possível que por serem pequenas, as coleções de vegetais fósseis existentes nas instituições (UFRGS e UNISINOS), apresentem um maior número de folhas de *Gangamopteris* devido a um simples viés (bias) amostral, o qual não refletiria necessariamente a proporção existente dessas folhas na paleoflora preservada. Outra possibilidade, levantada pelos autores, é que esse viés seja tafonomicamente controlado, onde a maior abundância de folhas do tipo *Gangamopteris* refletiria os tipos de plantas que habitavam as áreas mais próximas à linha de costa. De acordo com Retallack (1980), plantas com folhas “gangamopteróides” seriam mais comuns nas comunidades que viviam bem junto à costa do que nas que se distribuíam pelos demais ambientes mais interiores, presentes na planície costeira, nos depósitos eopermianos preservados na Bacia de Sydney, na Austrália.

Por último, tem-se a variedade *Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistme.) Dolianiti, táxon determinado por Tybusch & Iannuzzi (2008) para os estratos permianos do Rio Grande do Sul, que pelos recentes resultados obtidos por Tybusch *et al.* (submetido) e Tybusch & Iannuzzi (em submissão) merece uma análise

detalhada dentro da presente tese e, por isso, será tratada mais adiante, no item a parte.

Após o estudo de Tybusch & Iannuzzi (2008), a presença de formas atribuíveis ao morfogênero *Rubidgea* na Bacia do Paraná permanecia basicamente restrita ao registro feito por Millan & Dolianiti (1982) para os depósitos do topo do Grupo Itararé, no Sítio Itapema, município de Cerquilha, no estado de São Paulo. Entretanto, a partir do estudo realizado por Tybusch & Iannuzzi (em submissão), foi possível constatar que o gênero *Rubidgea* também estava ausente dos depósitos permianos do estado de São Paulo, bem como acontece no Rio Grande do Sul. Tybusch & Iannuzzi (em submissão) realizaram, então, a inclusão de todos os fósseis anteriormente classificados como *Rubidgea*, na localidade de Sítio Itapema, em *Gangamopteris*, separando os espécimes incluídos neste último gênero em três morfoespécies: *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, *G. buriadica* Feistmantel e *Gangamopteris* cf. *G. revoluta* Tybusch & Iannuzzi. Os autores constataram ainda quase uma ausência de folhas do tipo *Glossopteris*, sendo que apenas um único exemplar foi reportado até agora de modo preliminar para esta flora por Iannuzzi & Rohn (1995).

Em consequência, do mesmo modo que acreditavam alguns autores (Arber, 1905; Seward, 1907; Kovács-Endrödy, 1977), Tybusch & Iannuzzi (em submissão) especularam que o morfogênero *Rubidgea* talvez não tenha realmente validade e creditaram sua determinação às interpretações equivocadas de fósseis não bem preservados por parte daqueles que erigiram ou assinalaram sua ocorrência (i.e. Tate, 1867; Maithy, 1965a; Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980; Guerra-Sommer *et al.*, 1980; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1981; Millan & Dolianiti, 1982). Entretanto, será necessária uma reavaliação cuidadosa dos espécimes indianos, descritos por Maithy (1965a), para que se possa concluir em definitivo pela validade ou não deste táxon.

Além disso, a autora analisou e classificou algumas formas de folhas do tipo *Glossopteris*. Inicialmente, *Glossopteris browniana* foi identificada, pela primeira vez, para o topo do afloramento Quitéria, no estado Rio Grande do Sul (Boardman *et al.*, 2006). Com isto este táxon teve a sua distribuição fitoestratigráfica confirmada para a Zona *Glossopteris/Rhodeopteridium* (Boardman *et al.*, 2012) e, também, foi

considerado como restrito aos níveis da Formação Rio Bonito correspondentes ao intervalo Sakmariano-Artinskiano precoce (Holz *et al.*, 2010; Iannuzzi, 2010). *Glossopteris browniana* foi sugerida, ainda, como um táxon guia para a fitozona *Glossopteris/Rhodeopteridium*, a mais superior do Permiano Inferior do Rio Grande do Sul.

Posteriormente, Tybusch & Iannuzzi (2010) sugeriram uma emenda à diagnose original de *Glossopteris occidentalis* White, com base na análise do material tipo e de novos espécimes provenientes do afloramento Morro do Papaléo, no Rio Grande do Sul. Nesta emenda foram incluídas novas características quanto à venação (venação mediana, ângulos de emergência e divergência da venação secundária, tipos de malha formada pela venação secundária e densidade de venação) e ao formato da folha. A partir desta nova diagnose, foi possível realizar uma comparação mais efetiva com as demais espécies já descritas para o gênero *Glossopteris*, confirmando assim *G. occidentalis* como um táxon válido. Além disso, a distribuição geográfica desta espécie, originalmente descrita para localidades ao sul do Estado de Santa Catarina, foi ampliada para os afloramentos Morro do Papaléo e Mina do Faxinal, ambos no Estado do Rio Grande do Sul. Em termos bioestratigráficos, *G. occidentalis*, um táxon até então restrito à Formação Rio Bonito, teve sua distribuição ampliada para o topo do Grupo Itararé, estabelecendo assim sua amplitude para o Eopermiano (intervalo Sakmariano médio-Artinskiano precoce).

Por fim, foi feita por Tybusch *et al.* (2012) uma reavaliação da “Taoflora de Rio da Estiva”, município de Itaiópolis, no Estado de Santa Catarina, que compreendia algumas formas apresentadas apenas em nível genérico, como *Glossopteris* sp. e *Samaropsis* sp., frutificações como *Ottokaria* sp., *Arberia minasica*, *Arberia* sp. e *Hirsutum* sp., além de restos não identificados, tais como caules e prováveis folhas de licófitas (Rösler, 1975). A nova análise, realizada com os melhores exemplares preservados, possibilitaram a separação dos espécimes atribuídos ao gênero *Glossopteris* em três morfoespécies distintas: *Glossopteris communis* Feistmantel, *Glossopteris* cf. *G. indica* Schimper e *G. occidentalis* White emend. Tybusch & Iannuzzi. Registrou-se também, pela primeira vez para este afloramento, a presença de impressões foliares que se enquadraram no morfogênero *Gangamopteris*, i.é *Gangamopteris obovata* (Carruthers) White, por

apresentarem ausência de uma venação mediana diferenciada e anastomoses ao longo de toda a lâmina foliar (Tybusch *et al.*, 2012).

A introdução destes novos táxons contribuiu para aumentar a diversidade da “Taoflora de Rio da Estiva”. No entanto, as morfoespécies de glossopterídeas determinadas são de ampla distribuição estratigráfica e geográfica, distribuindo-se desde o topo do Grupo Itararé, nos estados do Rio Grande do Sul e São Paulo, até o topo da Formação Rio Bonito, em Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Rösler, 1978; Bernardes-de-Oliveira, 1977 e 1980; Tybusch & Iannuzzi, 2008, 2010; Iannuzzi *et al.*, 2007, 2010, presente tese).

Além disto, foi feito o primeiro registro de folhas de glossopterídeas contendo danos por insetos para esta “taoflora” (Pinheiro *et al.*, 2012). Os danos foram observados em folhas de *Glossopteris* sp., *Glossopteris communis*, *Glossopteris occidentalis* e *Gangamopteris obovata*. A evidência de consumo de tecidos foliares indicou que as glossopterídeas eram herbivorizadas por insetos predominantemente com aparelho bucal mastigador. Cabe ressaltar que a determinação prévia das morfoespécies, feita por Tybusch *et al.* (2012), contribuiu de forma decisiva na atribuição de especificidades dos danos aos morfotipos de folhas glossopterídeas presentes na associação, sem a qual o trabalho sobre as interações inseto-planta não teria sido viável.

Na presente tese, portanto, consideram-se *Gangamopteris* e *Glossopteris* como os únicos gêneros de folhas glossopterídeas válidos para Bacia do Paraná até o momento.

#### **6.1.1. Reavaliação de *Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistm.) Dolianiti**

Em 1869, Carruthers ilustrou e descreveu sucintamente um espécime coletado no município de Candiota, no Rio Grande do Sul, sob a denominação de *Noeggerathia obovata*. Este mesmo espécime foi posteriormente sinonimizado à *Euryphyllum wittianum* por Zeiller (1896). Já Seward (1903) e Arber (1905), ao examinarem o espécime-tipo de Carruthers, que se encontra depositado no *Natural History Museum*, em Londres, consideraram-no idêntico aos descritos para



*Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel (1879), espécie comumente encontrada no Gondwana Inferior da Índia, e assim o incluíram sob este epíteto. Contudo, White (1905, 1908), ao estudar novos exemplares brasileiros coletados por I. White (1908), em Santa Catarina, revalidou a espécie de Carruthers, recombinação-a no gênero *Gangamopteris*, como *G. obovata* (Carr.) White, além de propor uma emenda a diagnose original da espécie. No trabalho de 1908, White ainda sinonimizou à *G. obovata* a espécie australiana *G. spatulata* McCoy e as indianas *G. cyclopteroides* Feistmantel e *G. major* Feistmantel, afora as variedades *G. cyclopteroides* var. *attenuata* Feistmantel e *G. cyclopteroides* var. *major* (Feistm.) Arber (= *G. major* Feistm.), por considerar todas estas formas suficientemente similares entre si para serem incluídas sob um mesmo epíteto.

Porém, White (1908) também comentou (op. cit., p. 530) que a maior parte do material brasileiro aproximava-se muito mais da forma descrita por Feistmantel (1879) como *G. major*, a qual foi mais tarde considerada por Arber (1905) como uma variedade de *G. cyclopteroides*, e.g. *G. cyclopteroides* var. *major*. O autor ainda concluiu não ter sido capaz de reconhecer as formas indianas típicas de *G. cyclopteroides* entre os espécimes brasileiros por ele estudados e ponderou que talvez essa forma pudesse ser considerada uma variedade ou subespécie de *G. obovata*.

Posteriormente, Dolianiti (1954), ao seguir as recomendações de White, não só assinalou a presença de *G. obovata* (Carr.) White, em Criciúma, Santa Catarina, bem como criou uma nova variedade para esta espécie, a fim de incluir as formas brasileiras que fossem similares à variedade proposta por Arber (1905), e.g. *G. cyclopteroides* var. *major*, a qual ele denominou de *G. obovata* var. *major* Feistmantel.

Décadas depois, Tybusch & Iannuzzi (2008) assinalaram, pela primeira vez, a presença de *Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistm.) Dolianiti, para a porção médio-superior da Formação Rio Bonito, na seção do Afloramento Morro do Papaléo (níveisossilíferos 7 e 8), no Rio Grande do Sul. Este foi o primeiro registro de *G. obovata* var. *major* para uma localidade fora de sua área tipo, estendendo sua distribuição geográfica em direção ao sul da bacia.

Deve-se ressaltar ainda que Tybusch & Iannuzzi (em submissão), ao reavaliarem o material do Sítio Itapema, Cerquilha-SP, assumiram *G. obovata* e *G. cyclopteroides* como espécies distintas, devido principalmente a uma notável diferença em relação à venação da região mediana de ambas. Enquanto em *G. obovata* a região mediana é ocupada por veias subparalelas finas que apresentam o mesmo calibre das demais veias da lâmina foliar (veias médias difusas) e se abrem distalmente em “leque”, em *G. cyclopteroides* esta região encontra-se ocupada por veias subparalelas retilíneas, relativamente mais grossas do que as demais, e que formam malhas alongadas e retangulares, as quais permanecem nítidas até a porção apical da folha, onde se tornam então difusas (para outras feições distintivas ver Tabela X). Ainda, segundo Tybusch & Iannuzzi (em submissão), *G. major* Feistm. deveria ser realmente considerada como um sinônimo júnior de *G. obovata*, por tratarem-se de formas idênticas, assim como já havia sido sugerido por White (1908) e Kovács-Endrödy (1977), em parte.

No entanto, após uma análise detalhada dos espécimes incluídos na variedade proposta por Dolianiti (= *G. obovata* var. *major*), depositados na coleção do DNPM, ficou evidente que, na verdade, esses apresentavam maior similaridade com as formas descritas para a espécie *Gangamopteris cyclopteroides* Feistm. do que com aquelas assinaladas para *G. obovata* (Carr.) White. A mesma observação pode ser estendida aos espécimes registrados para essa variedade no Rio Grande do Sul por Tybusch & Iannuzzi (2008).

Apesar da grande semelhança do material brasileiro classificado em *G. obovata* var. *major* (Dolianiti, 1954; Tybusch & Iannuzzi, 2008) com aquele incluído na espécie indiana *G. cyclopteroides* Feistm., constatou-se a existência de uma pequena e marcante diferença em relação ao ângulo de inclinação com que as veias atingem as margens laterais entre ambos tipos de folha. Em *G. cyclopteroides*, as veias que correm em direção às margens laterais formam arcos suaves e amplos, atingindo as margens em ângulos relativamente agudos (60° a 65°, conforme Feistmantel, 1879). Já nos espécimes brasileiros, essas veias ao partirem da região central da lamina, sofrem um maior arqueamento ao se aproximarem das margens da folha, atingindo-as em ângulos muito mais abertos, por vezes, quase retos (70° a 85°, conforme Tybusch & Iannuzzi, 2008). Além disso, as folhas dos espécimes brasileiros distinguem-se pelo formato oblanceolado-espátulado, enquanto as formas

indianas são mais oblongas a ovais. Tendo em vista ser esta uma feição distintiva entre os espécimes brasileiros e indianos, optou-se aqui por incluir o material da Bacia do Paraná como uma nova variedade da espécie indiana, a saber:

Ordem GLOSSOPTERIDALES

*Gangamopteris* McCoy 1847

**Espécie-tipo:** *Cyclopteris angustifolia* McCoy 1847 (*G. angustifolia* McCoy 1875)

*Gangamopteris cyclopteroides* var. nov. *dolianitii*

Figura 14

*Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistmantel) Dolianiti 1954, Pl. II; fig. 1.

*Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistmantel) Dolianiti 1954, in Tybusch & Iannuzzi, 2008: p. 69; figs. 7 a, 8 a,b.

**Material analisado.** DGM 1054; MP-Pb 3479, 3703, 3704, 3714, 3724, 4406abA, 4406aB, 4407ab.

**Diagnose:** Como a da espécie. Distingue-se pelo limbo oblanceolado-espátulado e pelos ângulos mais obtusos com que as veias atingem as margens laterais da folha, os quais variam entre 70° e 85°.

**Etimologia:** Em homenagem ao célebre paleobotânico brasileiro que descobriu e trabalhou com este material inicialmente, e confirmou com propriedade a presença da espécie indiana no Brasil.

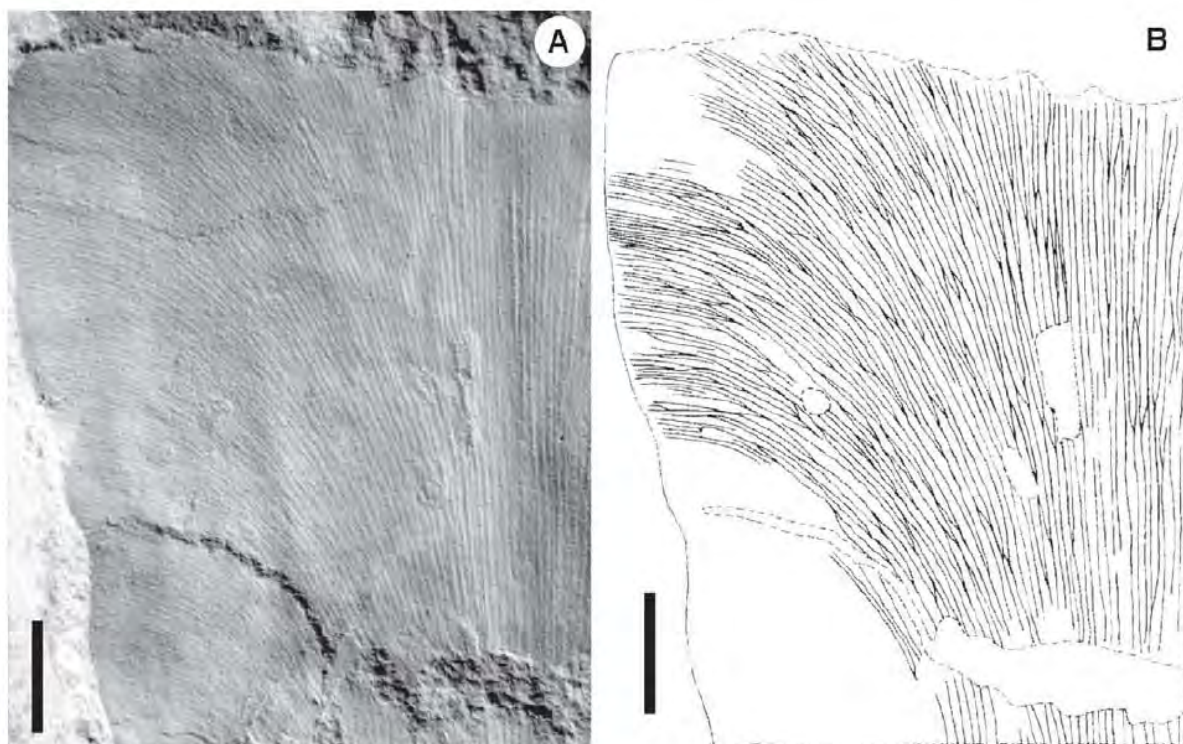


Figura 14. *Gangamopteris cyclopteroides* var. nov. *dolianitii*, MP-Pb 3704: foto (A) e desenho (B) mostrando o padrão da venação. Escalas = 1cm.

Tabela 2. Comparação das características diagnósticas entre *G. obovata* (Carr.) White e *G. cyclopteroides* Feistm. (retirada e traduzida de Tybusch & Iannuzzi, em submissão).

<i>G. obovata</i> (Carr.) White	<i>G. cyclopteroides</i> Feistm.
1. Forma oblanceolada	1. Forma oblonga a oval
2. Base estreitamente afunilada	2. Base afunilada gradualmente
3. Largura máxima acima de 1/2 do comprimento da folha	3. Largura máxima até 1/2 do comprimento da folha
4. Veias médias difusas	4. Veias médias nítidas e de maior calibre

Tabela 3. Registros prévios das espécies e Interpretação taxonômica adotada neste trabalho.

REGISTROS PRÉVIOS	Interpretação taxonômica adotada neste trabalho
<i>Gangamopteris buriadica</i> (Cazzulo-Klepzig <i>et al.</i> , 1980b, Est. I, figs. 2, 5); <i>Gangamopteris obovata</i> (Cazzulo-Klepzig <i>et al.</i> , 1980b, Est. I, fig. 6); <i>Gangamopteris obovata</i> (Tybusch e Iannuzzi, 2008, figs. 6, 7C, 7F).	<i>Gangamopteris cyclopteroides</i> Feistmantel 1879
<i>Rubidgea itapemensis</i> (Millan & Dolianiti, 1982: p. 61, 62, 63, pl. 2, fig. 4-7).	<i>Gangamopteris buriadica</i> Feistmantel 1879
<i>Noeggerathia obovata</i> (Carruthers, 1869: p. 155, pl. VI, fig. 1); <i>Gangamopteris sp.</i> (Cazzulo-Klepzig <i>et al.</i> , 1980:65,est.2, fig.3); <i>Rubidgea sp.</i> (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1980,est.1, fig.8); <i>Rubidgea sp.</i> (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1980:137,est.2, fig.5); <i>Rubidgea obovata</i> (Guerra-Sommer & Klippel, 1980:608,610, est.2, fig.2, fig. 1d); <i>Rubidgea obovata</i> (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993:65, pl.1, fig.1); <i>Rubidgea sp.</i> (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000a:487, fig.2a,c); <i>Rubidgea obovata</i> (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000b:69, fig.1e); <i>Rubidgea obovata</i> (Millan & Dolianiti, 1982: p. 58, 59, pl. 1, fig. 1-6); <i>Rubidgea lanceolata</i> (Millan & Dolianiti, 1982: p. 58, 59, 61, pl. 1, fig. 7). <i>Gangamopteris major</i> (Feistmantel, 1879: p. 15, pl. XIV, fig. 3; pl. XVI, fig. 1, 2, 2a, 3); <i>Gangamopteris major</i> (Feistmantel, 1882: p. 38, pl. XV, fig. 13, 14; pl. XX, fig. 2); <i>Gangamopteris major</i> (Feistmantel, 1886: p. 33, pl. Va, fig. 9; pl. Xla, fig. 9); <i>Glossopteris obovata</i> (Kovács-Endrödy 1977: p. 31, fig. 7; p. 33, pl. I fig. 1,2; p.35, pl. II, fig. 1,2,3).	<i>Gangamopteris obovata</i> (Carruthers) White 1908
<i>Gangamopteris aff. G. mosesi</i> (Tybusch <i>et al.</i> 2013)	<i>Gangamopteris cf. G. mosesi</i> Dolianiti 1954
<i>Gangamopteris obovata</i> var. <i>major</i> (Dolianiti, 1954: pl. II, fig. 1). <i>Gangamopteris obovata</i> (Iannuzzi & Souza, 2005:148, fig.4a); <i>Gangamopteris obovata</i> var. <i>major</i> (Tybusch & Iannuzzi, 2008: p. 69, figuras 7 a; 8 a,b);	<i>Gangamopteris cyclopteroides</i> var. nov. <i>dolianiti</i> Tybusch 2013
<i>Gangamopteris angustifolia</i> (Côrrea da Silva & Arrondo, 1977:40,est.1, fig.4); <i>Gangamopteris angustifolia</i> (Cazzulo-Klepzig <i>et al.</i> , 1980:59,est.1, fig.8); <i>Rubidgea sp.</i> (Cazzulo-Klepzig <i>et al.</i> , 1980:59, est.2, fig.1); <i>Rubidgea sp.</i> (Cazzulo-Klepzig <i>et al.</i> , 1980:67, est.3, fig. 5); <i>Gangamopteris angustifolia</i> (Cazzulo-Klepzig <i>et al.</i> , 1980:6, est.3,fig.14); <i>Rubidgea sp.</i> (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1981:137, est.2, fig.6); <i>Rubidgea lanceolatus</i> (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993:65, pl.1, fig.4); <i>Rubidgea lanceolata</i> var. <i>truncata</i> (Millan & Dolianiti, 1982: p. 61, 62, 63, pl. 2, fig. 1-3).	<i>Gangamopteris revoluta</i> Tybusch & Iannuzzi 2008
<i>Gangamopteris sulriograndensis</i> (Tybusch 2009)	<i>Gangamopteris sulriograndensis</i> Tybusch 2009
<i>Glossopteris browniana</i> (Boardman <i>et al.</i> 2006)	<i>Glossopteris browniana</i> Brongniart 1828
<i>Glossopteris cf. G. indica</i> (Tybusch <i>et al.</i> 2011)	<i>Glossopteris indica</i> Schimper 1869
<i>Glossopteris communis</i> (Tybusch <i>et al.</i> 2011)	<i>Glossopteris communis</i> Feistmantel 1876
<i>Glossopteris aff. G. Zeilleri</i> Pant e Gupta 1968 (Tybusch <i>et al.</i> 2013)	<i>Glossopteris aff. G. Zeilleri</i> Pant e Gupta 1968
<i>Glossopteris cf. G. ampla</i> (Read, 1941, p. 76-79, pl. 4, fig. 5); <i>Taeniopteris sp.</i> (Dolianiti, 1948, p. 17, pl. 6, fig. 1); <i>Glossopteris stricta</i> (Dolianiti, 1953a, p.2-4, pls. 1-2); <i>Taeniopteris feddeni</i> (Dolianiti, 1953b,p. 2-3, pls. 1-2).	<i>Glossopteris occidentalis</i> (White) Tybusch & Iannuzzi 2010

## 6.2. Fitoestratigrafia

Foi possível realizar uma análise fitoestratigráfica das morfoespécies dos gêneros *Gangamopteris* e *Glossopteris* a partir da revisão taxonômica das impressões/adpressões de folhas de glossopterídeas e do estabelecimento do posicionamento dos afloramentos estudados da Bacia do Paraná, entre os topos do Grupo Itararé e da Formação Rio Bonito (Figura 15).

Em termos fitoestratigráficos, Rösler (1978) e Rocha-Campos & Rösler (1978) foram os primeiros a sintetizar a sucessão macroflorística e ordenar estratigraficamente os táxons de plantas da Bacia do Paraná, no território brasileiro. Mais tarde, Millan (1987) sumarizou os resultados macroflorísticos e bioestratigráficos das camadas de carvão do intervalo Carbonífero Superior-Permiano Inferior do norte da bacia, no estado de São Paulo. Já Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) e Jasper *et al.* (2003) estabeleceram zoneamentos fitoestratigráficos, a partir das floras associadas às camadas de carvão, para o Permiano Inferior do estado do Rio Grande do Sul, os quais foram recentemente atualizados por Iannuzzi *et al.* (2007). Posteriormente, Rohn & Rösler (2000) estabeleceram a fitoestratigrafia de depósitos do Permiano Médio a Superior da porção central da Bacia do Paraná. Por último, Iannuzzi & Souza (2005) publicaram uma reatualização da sucessão macroflorística para o intervalo Carbonífero Superior-Permiano Inferior da bacia. Entre todos estas propostas, somente os trabalhos de Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) e Jasper *et al.* (2003) constituem esquemas bioestratigráficos formais (Boardman, 2011).

Entretanto, falta ainda um esquema fitoestratigráfico formal que abranja toda a bacia. A resolução deste problema passa pelo estabelecimento de um arcabouço no qual as amplitudes dos táxons estejam mais precisamente delineadas. Para isso, os táxons necessitam estar bem determinados, por um lado, e os afloramentos bem situados estratigraficamente, por outro. Felizmente, nos últimos anos, vários dos afloramentos mais importantes, do ponto de vista paleobotânico, têm sido mais precisamente posicionados na coluna estratigráfica da bacia, o que está permitindo avanços na determinação das amplitudes estratigráficas dos táxons. Revisões taxonômicas como as propostas aqui possibilitam, por sua vez, o estabelecimento de táxons melhor definidos e claramente identificados em cada localidade ou afloramento.

Com o intuito de auxiliar na construção de um futuro esquema fitoestratigráfico em nível bacinal, a presente tese apresenta a seguir uma proposta de distribuição estratigráfica das folhas de glossopterídeas para o intervalo Permiano Inferior da Bacia do Paraná, realizada a partir da revisão taxonômica conduzida neste estudo e das recentes publicações que propõem o posicionamento estratigráfico dos afloramentos abordados. Inicialmente, serão apresentados os trabalhos que justificam a disposição dos afloramentos na sequência eopermiana.

O afloramento Sítio Itapema, em Cerquilha-SP, foi posicionado no topo do Grupo Itararé, conforme Nagali & Consoni (1984), Martini & Rocha-Campos (1991), Santos *et al.* (1996) e Rocha-Campos *et al.* (2000) que consideraram as “camadas hulheíferas” que contém as plantas fósseis do Sítio Itapema como o resultado de um processo de sedimentação desenvolvido em um cenário interglacial e, por conseguinte, este depósito seria pertencente ao topo do Grupo Itararé. Já os afloramentos Acampamento Velho, Faxinal, Cerro do Chapéu e Morro do Papaléo “A”, situados no Rio Grande do Sul, são também considerados como pertencentes à porção mais superior do Grupo Itararé, conforme Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980), Guerra-Sommer *et al.* (1980), Kuhn & Frank (1983), Tybusch *et al.* (2009), Iannuzzi *et al.* (2003a; 2003b) e Iannuzzi *et al.* (2010a). Porém, Bernardes-de-Oliveira (1980) utilizou-se da quase ausência de folhas de *Glossopteris* e da predominância das de *Gangamopteris* no Sítio Itapema para justificar o posicionamento deste afloramento estratigraficamente abaixo dos afloramentos localizados no Rio Grande do Sul. Esta proposição é aceita aqui.

O afloramento São João do Triunfo, situado no Paraná, foi posicionado como pertencente ao Membro Triunfo, terço inferior da Formação Rio Bonito (em Iannuzzi, 2010). O afloramento Rio da Estiva, localizado em Santa Catarina, próximo à divisa com o Paraná, está posicionado dentro da porção inferior do Membro Paraguaçu, terço médio da Formação Rio Bonito (ver Tybusch *et al.*, 2012).

Análises estratigráficas prévias feitas juntamente com análise de sondagens, veiculadas no estudo de Tybusch *et al.* (submetido), indicaram que os estratos aflorantes de Cambaí Grande, situados no Rio Grande do Sul, posicionam-se estratigraficamente no intervalo correspondente à porção médio-superior da Formação Rio Bonito.





<i>Gangamopteris rigbyi</i> in Bernardes-de-Oliveira 1977										X
<i>Gangamopteris dolianitti</i> Millan 1989	X									
<i>Gangamopteris roesleri</i> Ricardi-Branco & Bernardes-de-Oliveira 2000	X									
<i>Gangamopteris revoluta</i> Tybusch & Iannuzzi 2008		X			X		X		X	X
<i>Gangamopteris sulriograndensis</i> Tybusch 2009			X							
<i>Gangamopteris</i> sp.		X	X	X				X		X
<i>Glossopteris browniana</i> Brongniart 1828								X		X
<i>Glossopteris angustifolia</i> Brongniart 1828					X					X
<i>Glossopteris ampla</i> Dana 1849										X
<i>Glossopteris indica</i> Schimper 1869		X		X	X					X
<i>Glossopteris communis</i> Feistmantel 1876				X	X	X	X		X	X
<i>Glossopteris formosa</i> Feistmantel 1881										X**
<i>Glossopteris longicaulis</i> Feistmantel 1881					X					X**
<i>Glossopteris taenioides</i> Feistmantel 1882										X
<i>Glossopteris spathulo-cordata</i> Feistmantel 1890										X
<i>Glossopteris seawardii</i> Plumstead 1962										X**
<i>Glossopteris Zeilleri</i> Pant e Gupta 1968							X*			
<i>Glossopteris occidentalis</i> (White) Tybusch & Iannuzzi 2010				X	X				X	X
<i>Glossopteris</i> sp1. (in Iannuzzi & Rohn, 1985)	X									

De acordo com a Figura 15, foi possível observar três horizontes principais de mudanças nas morfoespécies de folhas de glossopterídeas, representando níveis de surgimento e extinção que separam quatro intervalos florísticos (I - IV).

Os Intervalos I e II correspondem aos afloramentos Sítio Itapema, Acampamento Velho, Faxinal, Cerro do Chapéu e Morro do Papaléo A que estão inseridos na porção superior do Grupo Itararé.

O Intervalo I é representado apenas pelo conteúdo do afloramento Sítio Itapema e é caracterizado pela presença das espécies *Gangamopteris stephensoni*, *G. dolianitti*, *G. roesleri*, *G. angustifolia*, *G. buriadica*, *G. obovata* e *Glossopteris* sp.1. Neste intervalo se observa um grande predomínio do gênero *Gangamopteris* (6 espécies) em relação ao gênero *Glossopteris* (1 espécie). As espécies *Gangamopteris stephensoni*, *G. dolianitii* e *G. roesleri* são exclusivas deste intervalo (Figura 15).

O limite inferior do Intervalo II caracteriza-se pelo desaparecimento dos táxons típicos do Intervalo I, e.g. *Gangamopteris stephensoni*, *G. dolianitti*, *G. roesleri* e *Glossopteris* sp.1, e pelo surgimento de *Gangamopteris sulriograndensis*, *G. revoluta*, *G. cyclopteroides*, *Glossopteris indica*, *G. communis* e *G. occidentalis*. O limite superior é definido pelo desaparecimento de *Gangamopteris angustifolia* e *G. sulriograndensis* do registro na bacia. O intervalo II apresenta uma transição entre o domínio das espécies de *Gangamopteris* e as espécies de *Glossopteris*. Este intervalo, além disto, apresenta uma única espécie restrita a ele, a saber, *Gangamopteris sulriograndensis*, que seria, neste caso, a espécie exclusiva (Figura 15).

O Intervalo III corresponde à Formação Rio Bonito e nele estão situados os afloramentos São João do Triunfo, Rio da Estiva, Cambaí Grande e Quitéria.

No intervalo III ocorre o surgimento das espécies *Glossopteris angustifolia* e *G. longicaulis* no seu limite inferior, enquanto que as espécies *Glossopteris zeilleri*, *Gangamopteris mosesii*, *Glossopteris browniana* e *Gangamopteris cyclopteroides* var. nov. *dolianitii* (= *G. obovata* var. *major* Dolianiti 1954) surgem a partir da porção média em direção ao topo do intervalo, nesta ordem (Figura 15). O limite superior é marcado pelo desaparecimento de *Gangamopteris revoluta* e *Gangamopteris cyclopteroides*. A única espécie restrita deste intervalo é *Glossopteris zeilleri*.

Por fim, o Intervalo IV, situado no topo da Formação Rio Bonito e que inclui os afloramentos Morro do Papaléo B, Bainha e Lauro Müller, é caracterizado pelo surgimento das espécies *Gangamopteris intermedia*, *G. rigby*, *Glossopteris ampla*, *G. formosa*, *G. taenioides*, *G. spathulo-cordata* e *G. sewardii* (Figura 15).

Infelizmente, após uma análise dos resultados obtidos, verificou-se que as poucas espécies que poderiam ser consideradas como bons fósseis-índice por apresentarem pequena amplitude estratigráfica, tais como *Gangamopteris stephensoni*, *G. dolianitti*, *G. roesleri*, *G. sulriograndensis*, *G. intermedia*, *G. rigby*, *Glossopteris zeilleri*, *G. ampla*, *G. formosa*, *G. taenioides*, *G. spathulo-cordata* e *G. sewardii*, são, ao mesmo tempo, bastante raras, ocorrendo normalmente em apenas um único afloramento. Por outro lado, espécies abundantes e de fácil identificação que permitiriam uma correlação entre afloramentos da bacia, tais como *Glossopteris communis*, *G. occidentalis*, *Gangamopteris cyclopteroides*, *G. revoluta*, apresentaram uma grande amplitude estratigráfica (Figura 15). Aparentemente, algumas espécies, e.g. *Gangamopteris angustifolia*, *G. cyclopteroides* var. nov.

*dolianitii*, *Glossopteris browniana* e *G. ampla*, por ocorrerem em mais de um afloramento e apresentarem uma pequena amplitude estratigráfica, mesmo não sendo muito abundantes, poderiam ser utilizadas futuramente como espécies-índice em escala de bacia.

De qualquer modo, é importante destacar que a sucessão de folhas glossopterídeas apresentou intervalos relativamente bem definidos por conjuntos de táxons (I a IV) e possíveis horizontes de mudanças na composição da folhagem, estabelecidos pelo desaparecimento e aparecimento das espécies, os quais poderão ser extremamente úteis para o desenvolvimento posterior de fitozonas formais, especialmente, quando comparados aos registros das demais plantas presentes. Espera-se que esta seja uma contribuição inicial em direção ao estabelecimento de um fitozonamento para toda a bacia.

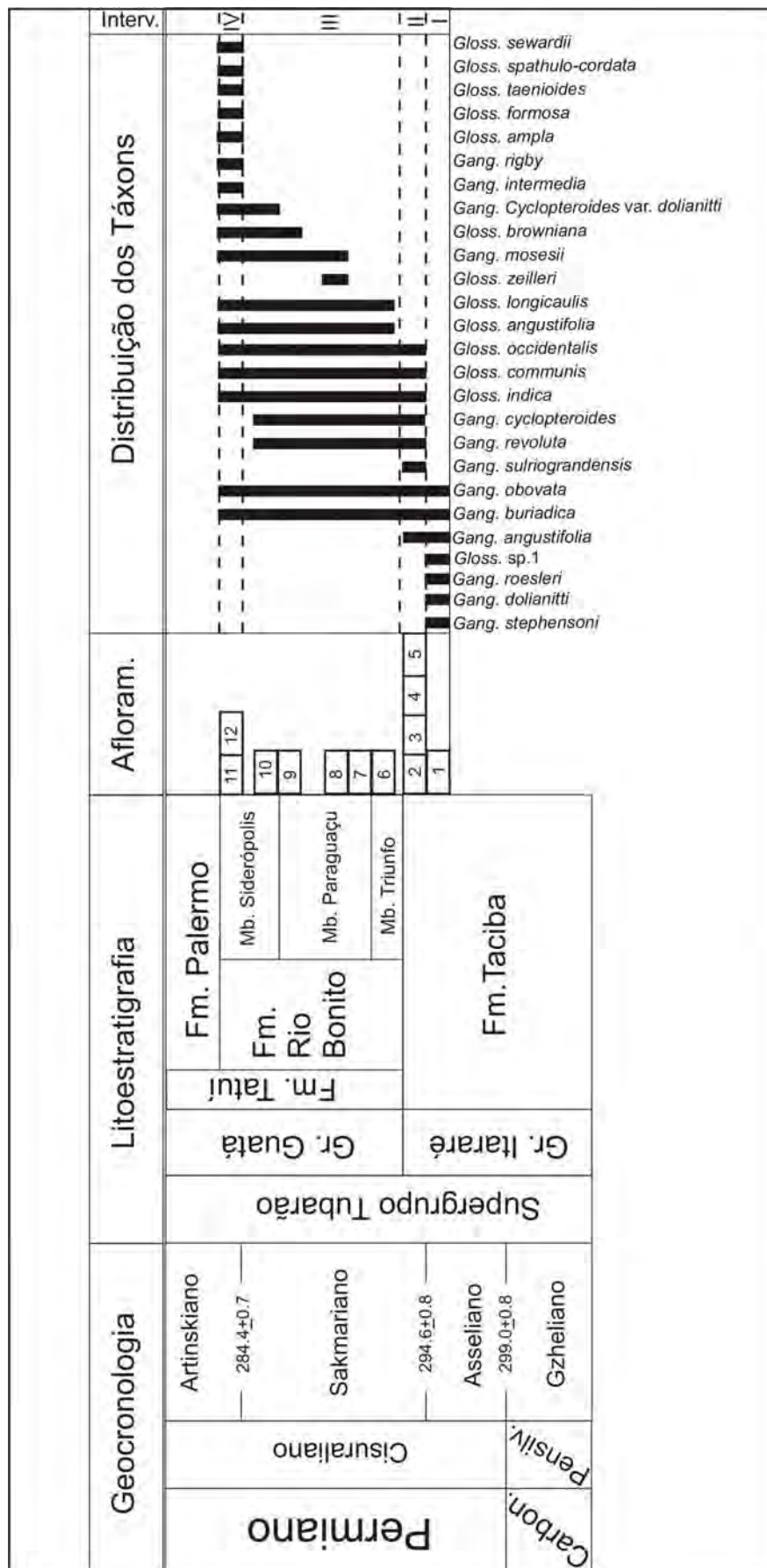


Figura 15. Distribuição estratigráfica das folhas de glossopterídeas.

### 6.3. *Glossopteris* & *Gangamopteris*: conceitos e definições

A classificação das folhas de glossopterídeas, especialmente quando se tratam apenas de impressões, é cercada de uma série de aspectos que dificultam sua precisa inserção taxonômica. Em face apenas de impressões foliares, a identificação de cada morfogênero é baseada, principalmente, nas características do padrão de venação (presença/ausência e tipos de venação mediana e padrões da venação secundária); enquanto as feições forma e tamanho têm sido relevantes apenas para a definição das morfoespécies, quando estas apresentam um padrão de venação muito semelhante entre si.

As folhas, tanto de *Gangamopteris* quanto de *Glossopteris*, são as mais abundantes da Flora *Glossopteris* e ambos os gêneros apresentam como semelhança, uma venação secundária reticulada. A característica que distingue as folhas destes dois gêneros é principalmente derivada da porção mediana da folha, em *Glossopteris* a região mediana apresenta uma distinta veia média, enquanto em *Gangamopteris* a região mediana é ocupada por um número de veias eretas (ou subparalelas) a levemente arqueadas.

Originalmente descrito por McCoy (1847) como *Cyclopteris angustifolia*, o gênero *Gangamopteris* se caracteriza por apresentar um padrão de venação típico do encontrado nas formas do gênero *Glossopteris*, mas sem apresentar um nítido feixe mediano de veias. O nome genérico *Gangamopteris* foi proposto para este tipo foliar após McCoy (1860) ter examinado um grande número de espécimes coletados nos estratos do Bacchus-Marsh Sandstone, situados em Victoria, Austrália, e ter observado que as anastomoses das veias secundárias e a ausência de um feixe mediano eram duas características constantes nestas folhas de glossopterídeas.

O gênero *Glossopteris*, por sua vez, tem sido definido e redefinido por vários autores ao longo do tempo (Schimper, 1869; Feistmantel, 1876; Feistmantel, 1881; Arber, 1905; Pant & Gupta, 1968; Kovács-Endrödy, 1976; Chandra & Surange, 1979; Srivastava, 1991; Chandra & Singh, 1992), desde que foi originalmente descrito por Brongniart (1828). Basicamente, o que define este gênero é a presença de uma venação mediana bem definida, constituída de veias mais próximas entre si e de maior calibre que as demais, formando um nítido feixe central persistente até a região apical.

Porém, de acordo com Kovács-Endrody (1977), as duas espécies-tipo dos gêneros, *Glossopteris browniana* Brongniart e *Gangamopteris angustifolia* McCoy, ocupariam uma posição central no provável “intervalo” de variação das formas com veias médias mais ou menos desenvolvidas (= “formas de transição”). Estudos feitos por Schopf (1976) e Kovács-Endrody (1976) mostraram que muitas espécies de *Glossopteris* não apresentavam uma veia média propriamente dita. Além disto, dependendo da face em que a folha foi preservada (face superior ou inferior), as veias centrais poderiam mostrar-se como nítidas linhas paralelas (neste caso sendo a folha identificada como *Glossopteris*) ou como um sulco, que para muitos paleobotânicos seria interpretado como uma falta de veia média (neste caso sendo a folha identificada como *Gangamopteris*). Portanto, para Kovács-Endrody (1977) a morfologia da veia média não constituiria uma característica para distinguir os dois gêneros e, por causa disto, todas as espécies de *Gangamopteris* foram reclassificadas pela autora dentro de *Glossopteris*, único gênero que seria válido (Kovács-Endrody, op. cit.).

Sem dúvida, muitas vezes, ambos os tipos foliares apresentam um número de veias paralelas, formando feixes centrais mais nítidos e proeminentes na região mediana, o que dificulta a diferenciação entre as formas com e sem “veia média” propriamente dita. Entretanto, nestas circunstâncias, segundo Srivastava (1977b), Pant & Singh (1968, 1974) e Srivastava & Agnihotri (2010), no caso de *Gangamopteris* as veias paralelas que formam feixes estariam interconectadas ou interligadas entre si, unindo-se por veias de conexão (*cross connections*), enquanto que em *Glossopteris* as interconexões nas veias médias estariam ausentes, elas correriam independentemente umas das outras e durante o curso superior elas divergiriam para as margens, formando malhas com anastomoses e dicotomias, o que diferenciaria os gêneros (Figura 16).

Srivastava & Agnihotri (2010) também discutiram sobre uma possível tendência evolutiva da “veia média”. A região mediana das folhas tipo *Gangamopteris* seriam caracterizadas por ter veias curvas a retas interligadas, que em diferentes espécies conferem relevos distintos. Segundo os autores, o processo de coalescência (união) das veias medianas, após o seu alinhamento e consolidação em diferentes espécies (“formas de transição”), como *Gangamopteris cyclopteroides* var. *dolianiti*, levou à condição de formação de uma veia média propriamente dita (*midrib*), como vista em formas de *Glossopteris*. Por exemplo,

*Glossopteris decipiens* Feistmantel, em que a veia central só ocupa até 1/2 ou 2/3 da lâmina foliar, demonstra a primeira fase deste processo e uma maior consolidação das veias médias, teria resultado no desenvolvimento de espécies com uma veia central completa (Figura 16).

Contudo, quando McCoy (1847) descreveu o gênero *Gangamopteris*, erigindo a espécie-tipo *Gangamopteris angustifolia*, em sua diagnose original e nas ilustrações da espécie, a região mediana se apresentava com um feixe central de veias subparalelas bastante nítidas. Já as espécies *Gangamopteris obovata* (Carr.) White e *Gangamopteris buriadica* Feistmantel, por exemplo, apresentam uma venação central bem mais frouxa, constituída de veias médias difusas, o que não condiz com a diagnose original. Isto levou, até mesmo, alguns autores, tais como Arber (1905) e Maithy (1998), a considerar *G. buriadica* como um táxon de classificação duvidosa. Maithy (1998), por exemplo, propôs a inclusão desta espécie em um novo gênero, e.g. *Karharbariphyllum*, por considerar ela como uma forma semelhante a *Noeggerathiopsis*, porém com a presença de conexões entre as veias formando malhas semelhantes a *Gangamopteris*.

A partir do exposto acima, assume-se na presente tese *Gangamopteris* e *Glossopteris* como dois gêneros distintos e válidos, com base nas características do padrão de venação da região central do limbo. Conclui-se que não há ainda argumentos definitivos para considerar todas as formas incluídas em ambos os gêneros sob um único epíteto, apesar de que se deva admitir a existência de um limite tênue entre um gênero e outro, especialmente, em relação às chamadas “formas de transição”. Por outro lado, verificou-se a partir de todo o estudo conduzido que formas como as incluídas em *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, as quais representam um tipo foliar caracterizado pela ausência de uma venação mediana estruturada, apresentando veias médias difusas, subparalelas e anastomosadas ao longo de toda a lâmina, poderiam ser classificadas em um táxon a parte, pois não correspondem às diagnoses originais de ambos os gêneros analisados aqui, i.é *Gangamopteris* e *Glossopteris*. A viabilidade desta alternativa deverá ser examinada futuramente.

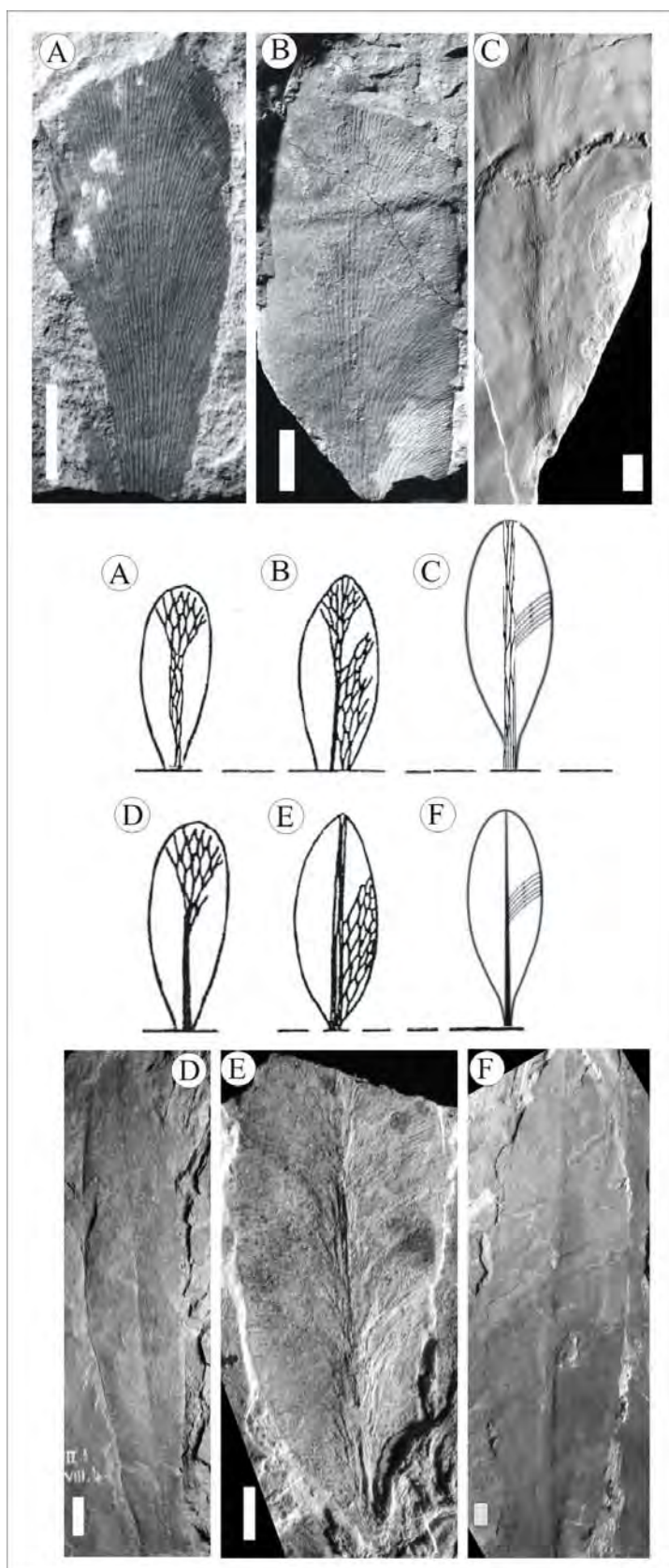


Figura 16. Comparação das folhas de glossopterídeas sem veia média e com veia média propriamente dita; a) *Gangamopteris obovata*; b) *G. cyclopteroides*; c) *G. cyclopteroides* var. nov. *dolianitii*; d) *Glossopteris decipiens*; e) *G. browniana* e f) *G. occidentalis*. Escala = 1cm.



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Com a reavaliação taxonômica de formas previamente descritas e incluídas no gênero *Rubidgea*, os espécimes encontrados em depósitos do sul e nas porções mais ao norte da Bacia Paraná, foram realocados em *Gangamopteris*, pois se constatou que estes não correspondiam à diagnose original do gênero, uma vez que apresentavam anastomoses ao longo da lâmina foliar;
- Assim, foi considerado que o gênero *Rubidgea* está ausente dos depósitos eopermianos (Grupo Itararé e Formação Rio Bonito) do Rio Grande do Sul e da localidade Sítio Itapema (Grupo Itararé), em São Paulo;
- Ainda, duas novas espécies e uma nova variedade, atribuídas ao gênero *Gangamopteris*, foram descritas e propostas, a saber: *Gangamopteris revoluta* Tybusch e Iannuzzi e *G. sulriograndensis* Tybusch, Iannuzzi, Frank, *G. cyclopteroides* var. nov. *dolianitii* Tybusch e Iannuzzi;
- A partir das análises taxonômicas, as folhas fósseis sul-rio-grandenses, anteriormente classificados como *Rubidgea* em *Gangamopteris*, foram classificadas em sete morfoespécies deste último gênero, e.g. *Gangamopteris obovata*, *G. obovata* var. nov. *dolianitii*, *G. buriadica*, *G. revoluta*, *G. cyclopteroides*, *G. sulriograndensis*, *G. aff. G. mosesi*, distribuídas em distintos níveis estratigráficos em localidades eopermianas do Rio Grande do Sul;
- A espécie *Glossopteris browniana* foi identificada, pela primeira vez, para o topo do afloramento Quitéria-RS, tendo a sua distribuição fitoestratigráfica confirmada na Zona *Glossopters-Rhodeopteridium*, para a qual é considerada como táxon exclusivo, ocorrendo apenas aos níveis médio-superiores da Formação Rio Bonito (intervalo Sakmariano final-Artinskiano inicial);
- Foi realizada uma emenda à diagnose original de *Glossopteris occidentalis* Tybusch e Iannuzzi, o que proporcionou a ampliação da distribuição geográfica (afloramentos Morro do Papaléo e Mina do Faxinal, RS, e Rio da Estiva, SC) e bioestratigráfica (topo do Grupo Itararé) desta espécie, estabelecendo assim sua ocorrência para o eopermiano da bacia (intervalo Sakmariano médio-Artinskiano inicial);

- Foi confirmada a presença do primeiro registro de folhas do tipo *Glossopteris* (*Glossopteris* aff. *G. zeilleri*) na paleoflora de Cambaí Grande-RS, além da ocorrência, pela primeira vez, da espécie indiana *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel, a qual foi determinada após uma detalhada análise comparativa com a espécie brasileira *G. obovata* (Carr.) White, onde ambos os táxons foram considerados como válidos;
- Na paleoflora de Rio da Estiva, as folhas do tipo *Glossopteris* previamente registradas foram classificadas em nível de espécie, a saber: *Glossopteris communis* Feistmantel, *G. occidentalis* White emend. Tybusch e Iannuzzi e *Glossopteris* cf. *G. indica* Schimper;
- Além disto, foi registrado, pela primeira vez, para o afloramento Rio da Estiva, a presença de impressões foliares que se enquadraram no morfogênero *Gangamopteris*, sendo classificadas em *Gangamopteris obovata* (Carr.) White;
- A partir da revisão paleobotânica dos afloramentos estudados foi possível realizar uma análise fitoestratigráfica e posicionar as folhas glossopterídeas dentro do intervalo Permiano Inferior, i.é Grupo Itararé - Formação Rio Bonito, da Bacia do Paraná, a partir da qual foram estabelecidos quatro intervalos (I a IV) bem definidos por conjuntos de táxons e algumas morfoespécies que poderiam ser utilizadas como fósseis-índice em fitozoneamentos futuros;
- Por fim, *Gangamopteris* e *Glossopteris* foram considerados como dois gêneros distintos e válidos, apesar dos argumentos a favor ou contra esta hipótese presentes na literatura não serem conclusivos a esse respeito;
- Porém, sugeriu-se que as formas similares às folhas da espécie *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, poderiam vir a ser reclassificadas em um novo gênero devido a: (i) ausência de uma venação mediana ou concentração de veias paralelas no centro, (ii) ausência de veias centrais com diâmetro maior do que as das regiões laterais da folha, (iii) a presença de veias médias difusas e subparalelas, e (iv) pela presença de malhas ou anastomoses ao longo de toda venação da lâmina foliar.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adami-Rodrigues,K., Souza,P.A., Iannuzzi,R. & Pinto,I.D. 2004a. Herbivoria em floras gondvânicas do Neopaleozóico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(2): 93-102.
- Adami-Rodrigues,K.; Iannuzzi, R. & Pinto, I.D. (2004b) Permian plant-insect interactions from a Gondwana flora of southern Brazil. *Fossils and Strata*, 51: 106-125.
- Andreis, R.R.; Cazzulo-Kleipzig, M.; Guerra-Sommer, M. & Zimmermann, L. 1980. Considerações sobre um afloramento fossilífero do Grupo Itararé: Fazenda Goulart, Francisquinha, Município de São Jerônimo, RS. *Boletim IG-USP*, 11: 85-97.
- Arber, E.A.N., 1905. Catalogue of the Fossil Plants of the *Glossopteris* Flora. Department of Geology, British Museum, London.
- Ash, A.; Ellis, B.; Hickey, L.J.; Johnson, K.; Wilf, P. & Wing, S. 1999. *Manual of leaf architecture: morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms*. Washington, Leaf Architecture Working Group of Smithsonian Institution, 65 p. <http://www.peabody.yale.edu/collections/pb/MLA.pdf>
- Barbosa, O., 1958. On the age of the Lower Gondwana Floras in Brazil and Abroad. 20th International Geological Congress, Comisión de Gondwana, Cidade do México, pp. 205-236.
- Barcellos, M.T. 1973. *Estudo de escamas e dentes de peixes da fácies Budó, subgrupo Irararé, Rio Grande do Sul*. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências da UFRGS, Porto Alegre. 65 p.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1969. *Flora da Formação Rio Bonito: Glossopteris, Noeggerathiopsis, Sphenopteris, Gangamopteris e Rhabdotaenia, na Subida do Bainha, Criciúma, SC*. São Paulo, 51p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1977. *Taoflora eogondvânica da camada Irapuá, Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão), SC*. São Paulo, 301 p., 36 est., (2 vol.). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1978. Frutificações de pteridospermófitas eogondvânicas da Camada Irapuá, Formação Rio Bonito, nos arredores de Criciúma, SC. *30º Congresso Brasileiro de Geologia (Recife). Anais*, 2: 986-1001.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1980a. Taoflora eogondvânica da Formação Rio Bonito ("Camada Irapuá"), Bacia do Paraná, Brasil. 2º Congreso Argentino de Paleontología y Biostratigrafía y 1 Congreso Latinoamericano de Paleontología (Buenos Aires). *Actas*, 4: 69-88.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1980b. Nouveau genre néomarioptéridien fertile de la Flore à Glossopteris du Bassin de Paraná au Brésil. *Boletim do IG-USP*, 11: 113-119.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1988. Equisetales Eogondvânicas da "Taoflora Irapuá", Formação Rio Bonito (Permiano Inferior), em Criciúma, SC, Bacia do Paraná, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 60(1): 45-60.
- Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Rohn R., Souza P.A., Ricardi-Branco F., Rösler O., Iannuzzi, R. & Zampirolli, A.P. 1999. Revision of Upper Paleozoic phytobiostratigraphy schemes in the northern portion of Paraná Basin, Brazil. In: International Congress on Carboniferous Permian, 14, Abstracts, Calgary, 12 p.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Ricardi-Branco, F. & Rösler, O. 2000. As estruturas reprodutivas de glossopterídeas na sucessão das taofloras permianas na Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Universidade de Guarulhos, Geociências*, 5(nº especial): 62-68.
- Beurlen, K.; Martins, E.A. & Sena Sobrinho, M. 1955. Formações gondwanicas do Rio Grande do Sul. *Boletim do Museu Nacional, Nova Série: Geologia*, Rio de Janeiro, 22:1-57.
- Boardman, D.R., 2011. Paleobotânica e palinologia dos depósitos eopermianos do paleovale Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul, Brasil (Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná): análise taxonômica e bioestratigráfica. Tese de Doutorado, 220p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
- Boardman, D.R.; Iannuzzi, R.; Souza, P.A.; Lopes, R.C. 2012. Paleobotanical and palynological analysis of Faxinal Coalfield (Lower Permian, Rio Bonito

- Formation, Paraná Basin), Rio Grande Do Sul, Brazil. *International Journal of Coal Geology*, v. 102, p. 12-25.
- Boardman, D.R. & Iannuzzi, R. 2010. Presence of the genus *Giridia* in the Paraná Basin (Lower Permian, Rio Bonito Formation). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 13(1): 5-12.
- Boardman, D.R., Tybusch, G.P., Iannuzzi, R., Dutra, T.L. & De Lima, L. 2006. Presença de *Glossopteris browniana* no topo do afloramento Quitéria, no Rio Grande do Sul (Permiano Inferior, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná). *Gaea*, 2: 9-17.
- Bortoluzzi, C.A., Piccoli, A.E.M., Bossi, G.E., Guerra-Sommer, M., Toigo, M.M., Pons, M.E.H., Wolf, M. & Silva, Z.C.C. 1978. Pesquisa geológica na Bacia Carbonífera de Santa Catarina. *Pesquisas*, 11:33-192.
- Brongniart, A. 1828. *Histoire des végétaux fossiles ou recherches botaniques et géologiques sur les végétaux renfermés dans les diverses couches Du globe*. Paris, G. Dufour & Ed. D'Ocagne, 223 p.
- Burjack, M.I.A.; Cazzulo-Klepzig, M.; Dias-Fabício, M.A.; Guerra-Sommer, M.; Marques-Toigo, M.; Paim, P.S. & Lavina, E.L., 1982. Perfil Paleocológico do Afloramento Morro do Papaléo, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul, Brasil. Trigésimo segundo Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Salvador, 4, pp. 1260–1270.
- Carruthers, W. 1869. On the plants remains from the Brazilian coal beds with remarks on the genus *Flemingites*. In: Plant, N. (ed). *The Brazilian coal fields*. *Geological Magazine* 6(58): 151-155.
- Cazzulo-Klepzig, M. & Guerra-Sommer, M. 1983. O morfogênero *Phyllothea* em sedimentos de Formação Rio Bonito no Rio Grande do Sul. 1º Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Atas, Porto Alegre, pp. 160–169.
- Cazzulo-Klepzig, M. & Guerra-Sommer, M. 1985. Relationship between the Taphoflora of the Itararé Group, Paraná Basin, South Brazil and the Permocarboniferous Boundary. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ESTRATIGRAFIA Y GEOLOGIA DEL CARBONÍFERO, 10, *Comptes rendus...* Madrid, v. 2, p. 395-408.
- Cazzulo-Klepzig, M.; Guerra-Sommer, M. & Bossi, E.G. 1980a. Revisão fitoestratigráfica do grupo Itararé no Rio Grande do Sul. I. Acampamento

- Velho, Cambaí Grande, Budó e Morro do Papaléo. *Boletim do Instituto de Geociências*, 11:55-75.
- Cazzulo-Klepizig, M.; Guerra-Sommer, M. & Marques-Toigo, M. 1980b. Estudo Macro e Microflorístico do Grupo Itararé (Bacia do Paraná), Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980. Balneário Camboriú. *Anais...* Santa Catarina, 1980. v. 5, p. 3027-3040.
- Chandra, S. 1991. Changing patterns of the Permian Gondwana vegetation. *The Palaeobotanist*. Lucknow, v. 40, p. 73-100.
- Chandra, S. & Surange, K.R. 1979. *Revision of the Indian species of Glossopteris*. Lucknow: Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, 301 p. (Monografia n. 2 - Birbal Sahni Institute of Palaeobotany).
- Chandra, S. & Singh, K.J. 1992. The genus *Glossopteris* from the Late Permian beds of Handapa, Orissa, India. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 75:183-218.
- Chemale Junior, F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sulrio-grandense. In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F. (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 13-52.
- Corrêa da Silva, Z. C. 1978. Observações sobre o Grupo Tubarão no Rio Grande do Sul com especial destaque à estratigrafia da Formação Itararé. *Pesquisas*, Instituto de Geociências, UFRGS, v. 9, p. 9-62.
- Corrêa da Silva, Z.C. & Arrondo, O.G., 1977. Taoflora Permiana de Mariana Pimentel, Município de Guaíba, Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 7: 27-44.
- Dohms, M. H. 1977. Revisão crítica das citações da Flora *Glossopteris* para o Rio Grande do Sul – I. Folhas e Frutificações. *Pesquisas*, Instituto de Geociências, UFRGS, v. 7, p. 145-170.
- Dolianiti, E. 1946. *Notícias sobre novas formas na Flora do Glossopteris do Brasil Meridional*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 6 p. (Notas Preliminares e Estudos 34).
- Dolianiti, E. 1948. *A Paleobotânica no Brasil*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 87 p. (Boletim 123).
- Dolianiti, E. 1952. La Flore Fossile du Gondwana au Brésil D'Après Sa Position Stratigraphique. *19º International Geological Congress e 19º Symposium Sur les Serie de Gondwana (Algeria)*. *Proceedings*, 285-301.

- Dolianiti, E. 1953a. *A Flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. I. O Gênero Glossopteris*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 7 p. (Notas Preliminares e Estudos 60).
- Dolianiti, E. 1953b. *A Flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. II. O Gênero Taeniopteris*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 7 p. (Notas Preliminares e Estudos 61).
- Dolianiti, E. 1953c. *A Flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. III. O Gênero Actinopteris*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 3 p. (Notas Preliminares e Estudos 62).
- Dolianiti, E. 1954a. *A Flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. IV. O Gênero Vertebraria*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 5 p. (Notas Preliminares e Estudos 81).
- Dolianiti, E. 1954b. *A Flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. V. O Gênero Gangamopteris*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 12 p. (Notas Preliminares e Estudos 89).
- Dolianiti, E. 1956a. Um verticilo de *Glossopteris* no Gondwana do Estado de Santa Catarina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 28(1):115-118.
- Dolianiti, E. 1956b. *A Flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. VI. O Gênero Sphenopteris: Brasil*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 18 p. (Notas Preliminares e Estudos 95).
- Dolianiti, E. 1971. A Flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. VII. O Gênero *Ottokaria*, *Ottokaria sancta catarinae* n. sp. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43(Suplem.):337-342.
- Dolianiti, E. & Millan, J.H. - 1973 -*Novo afloramento de vegetais gondwânicos no Estado de São Paulo*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 45 (3/4): 653-654.
- Feistmantel, O. 1876. Note on the age of some fossil floras of India. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica*, 9:28-42.
- Feistmantel, O., 1879. Fossil Flora of the Gondwana System. I.(suppl.) - The flora of the Talchir-Karharbari beds. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica*, series 12, 3, 1-64.

- Feistmantel, O. 1881. The fossil flora of the Gondwana System - 1. The flora of the Talchir-Karharbari Beds. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica, Series 12*, 3:49-64.
- França, A.B., Potter, P.E., 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permo-Carbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). *Boletim de Geociências da Petrobrás 2 (2/4)*, 147–191.
- Fulfaro, V.J., Perinotto, A.J. & Barcelos, J.H. 1991. Formação Tietê: o pós-glacial no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, Atas, São Paulo, SBG, p. 397–404.
- Gastaldo, R.A.; Walther, H.; Rabold, J. & Ferguson, D. 1996. Criteria to distinguish parautochthonous leaves in Cenophytic alluvial channel-fills. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 91: 1-21.
- Guerra-Sommer, M. 1988. Padrões epidérmicos da Flora Glossopteris na Jazida do Faxinal (Formação Rio Bonito, Kunguriano, RS): implicações taxonômicas, bioestratigráficas e paleogeográficas. Tese de Doutorado, 751 pp. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Guerra-Sommer, M. 1989. Megaflores ocorrentes em horizontes associados a carvão no Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, 29(2): 93-122.
- Guerra-Sommer, M. 1992. Padrões epidérmicos de glossopteridais da Taoflora do Faxinal (Formação Rio Bonito, Artinskiano- Kunguriano, Bacia do Paraná, Brasil). *Pesquisas*, 19, 26-40.
- Guerra-Sommer, M.; Cazzulo-Klepzig, M. 1981. A taoflora do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul sua importância bioestratigráfica no Gondwana Sul-Brasileiro: In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO PALEONTOLOGIA, 2, 1981. *Anais...* Porto Alegre, p. 127-140.
- Guerra-Sommer, M. & Cazzulo-Klepzig, M. 1993. Bioestigraphy of the southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence: a preliminary paleobotanical approach. *12º Congrès International de la Stratigraphie et Geologie du Carbonifere et Permian (Buenos Aires) Comptes Rendus 2*: 61-72.
- Guerra-Sommer, M.; Cazzulo-Klepzig, M. & Marques-Toigo, M. 1980. Revisão fitoestratigráfica do grupo Itararé no Rio Grande do Sul. III- Área de Faxinal, Município de Guaíba, Rio Grande do Sul. *Boletim do Instituto de Geociências*, 11:76-84.



- Guerra-Sommer, M.; Cazzulo-Klepzig, M. & Marques-Toigo, M. 1995a. Gondwanostachyaceae (Equisetopsida) no Gondwana Sul-Brasileiro (Formação Rio Bonito) com Mega e Microflora associados. *Pesquisas*, 22: 64-73.
- Guerra-Sommer, M.; Cazzulo-Klepzig, M. & Marques-Toigo, M. 1995b. Paleoclimatic implications of Lycopphyta in the Gondwana of Southern Brazil. *Pesquisas*, 22(1-2): 21-31.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Ketzer, J.M.M. & Formoso, M.L.L. 2008. Radiometric age determination of tonsteins and stratigraphic constrains for the Lower Permian coal succession in southern Paraná Basin, Brazil. *International Journal of Coal Geology* 74: 13-27.
- Hartmann, L.A.; Nardi, L.V.S.; Formoso, M.L.; Remus, M.V.D.; Lima, E.F.; Mexias, A.S. 1999. Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul shield, Brazil. *Pesquisas*, n. 26, p. 45-63.
- Hartmann, L.A.; Leite, J.A.D.; Silva, L.C.; Remus, M.V.D.; Mcnaughton, N.J.; Groves, D.I.; Fletcher, I.R.; Santos, J.O.S.; Vasconcelos, M.A.Z. 2000. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. *Australian Journal of Earth Sciences*, n. 47, p. 829-844.
- Holz, M. 1997. Early Permian sequence stratigraphy and paleophysiography of the Paraná Basin in northeastern Rio Grande do Sul State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69(4): 521-543.
- Holz, M., 1999. Early Permian sequence stratigraphy and the palaeophysiographic evolution of the Paraná Basin in southernmost Brazil. *Journal of African Earth Sciences*, 29 (1), 51-61
- Holz, M., 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system – an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 162 (3-4), 301-327.
- Holz, M.; Vieira, P.E. & Kalkreuth, W. 2000. The Early Permian coal-bearing succession of the Paraná Basin in southernmost Brazil: depositional model and sequence stratigraphy. *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 420-422.
- Holz, M., KÜchle, J., Philipp, R.P, Bischoff, A.P. & Arima, N. 2006. Hierarchy of tectonic control and stratigraphic signatures: Base-level changes during the

- Early Permian in the Paraná Basin, southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 22: 185-204.
- Holz, M., França, A.B., Souza, P.A., Iannuzzi, R. & Rohn, R., 2010. A stratigraphic chart of Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 29: 381-399.
- Iannuzzi, R., 2002. Afloramento Bainha (Criciúma), SC - Flora *Glossopteris* do Permiano Inferior. In: Schobbenhaus, C., Campo, D.A., Queiroz, E.T., Winge, M., Bebert-Born, M.L.C. (Eds.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Ministério de Minas e Energias - Departamento Nacional de Produção Mineral/Serviço Geológico do Brasil, Brasília: Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos, 1, pp. 23-31.
- Iannuzzi, R., 2010. The flora of Early Permian coal measures from the Paraná Basin in Brazil: A review. *International Journal of Coal Geology*, 83:229-247.
- Iannuzzi R. & Rohn R., 1995. Discussão sobre a presença do gênero *Glossopteris* na taoflora Cerquilho (Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Estado de São Paulo) e seu possível significado biocronoestratigráfico. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 14, Atas, Uberaba, 62–63.
- Iannuzzi, R. & Souza, P.A. 2005. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-date overview. *New Mexico Museum of the Natural History and Science*, 30: 144-149.
- Iannuzzi, R., Marques-Toigo, M., Scherer M.S.C., Caravaca, G., Vieira, E.L.C. & Pereira, L.S. 2003a. Phytobiostratigraphical reevaluation of the Southern Brazilian Gondwana sequence (Paraná Basin, Lower Permian). *15<sup>o</sup> International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy* (Utrecht) *Universiteit Utrecht*, 1: 240-242.
- Iannuzzi, R., Marques-Toigo, M., Scherer, C.M.S., Caravaca, G., Vieira, C.E.L. & Pereira, L.S. 2003b. Reavaliação da Fitobioestratigrafia da Sequência Gondwanica Sul-Riograndense: Estudo de Caso do Afloramento Morro do Papaléo (Bacia do Paraná, Permiano Inferior). *1<sup>o</sup> Encontro sobre estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias* (Porto Alegre) *Anais*, 182-185.
- Iannuzzi, R.; Scherer, C.M.S.; Souza, P.A.; Holz, M.; Caravaca, G.; Adami-Rodrigues, K; Tybusch, G.P.; Souza, J.M.; Smaniotto, L.P.; Fischer, T.V.; Silveira, A.S.; Lykawka, R.; Boardman, D.R. & Barboza, E.G. 2006. Afloramento Morro do

- Papaléo, Mariana Pimentel, RS. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná. *In: Carlos Schobbenhaus et al. (eds.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Volume II.* <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio101/sitio101.pdf>
- Iannuzzi, R., Souza, P.A., Scherer, C.M.S. & Holz, M. 2007. Plantas fósseis na Bioestratigrafia dos depósitos permianos do Rio Grande do Sul. *In: Iannuzzi, R. & Franz, J.C (eds.). 50 anos de geologia, contribuições do Instituto de Geociências.* Porto Alegre. pp. 41-57.
- Iannuzzi, R., Scherer, C.M.S., Souza, P.A., Holz, M., Caravaca, G., Adami-Rodrigues, K., Tybusch, G.P., Souza, J.M., Smaniotto, L.P., Fischer, T.V., Silveira, A.S., Lykawka, R., Boardman, D.R. & Barboza, E.G. 2010a. Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná. *In: Schobbenhaus, C. et al. (eds.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. 2:* 321-336.
- Iannuzzi, R., Souza, P.A & Holz, M. 2010b. Stratigraphic and Paleofloristic record of the Lower Permian post-glacial succession in the Southern Brazilian Paraná Basin. *The Geological Society of America (Special Paper 468: Late Paleozoic Glacial Events and Postglacial Transgressions in Gondwana)* pp. 113-131.
- Jasper, A. & Guerra-Sommer, M. 1998. Licófitas cormofíticas arborescentes do afloramento Quitéria – Formação Rio Bonito (Bacia do Paraná), RS. *Pesquisas*, 25: 43-60.
- Jasper, A. & Guerra-Sommer, M. 1999. Licófitas arborescentes *in situ* como elementos importantes na definição de modelos deposicionais (Formação Rio Bonito – Bacia do Paraná – Brasil). *Pesquisas*, 26: 49-58.
- Jasper, A., Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. & Menegat, R. 2003. The *Botrychiopsis* genus and its chronostratigraphic implication in Southern Paraná Basin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 75: 513-535.
- Jasper, A., Ricardi-Branco, F. & Guerra-Sommer, M. 2005. *Coricladus quiteriensis* gen. et sp. nov., a new conifer in Southern-Brazil Gondwana (Lower Permian, Paraná Basin). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 77: 157-168.
- Kovács-Endrödy, E. 1976. Notes on some *Glossopteris* species from Hammanskraal (Transvaal). *Palaeontologia Africana*, 19:67-95.
- Kovács-Endrödy, E., 1977. The taxonomic status of the genus *Rubidgea*. *Bothalia*, 2(12), 313-317.

- Krebs, A.S.J., 2004. Contribuição o conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da porção correspondente à bacia do rio Araranguá, SC. Ph.D. Dissertation, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências, Florianópolis, Brazil.
- Kuhn, A.G. & Frank, H.T. 1983. Projeto Piquiri. Geologia da Faixa IX. *Relatório Geológico GEO 239*. Porto Alegre, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 164 p.
- Lavina, E.L., Lopes, R.C., Faccini, U.F., Ribeiro, H.J.P.S. & Schultz, C.L. 1992. O sistema Permo-Triássico da Bacia do Paraná no Estado do RS. 13º, *Congresso Brasileiro de Paleontologia e 1º Simpósio de Paleontologia do Cone Sul, Anais*, p. 32.
- Loczy, L. 1964. Problemas da estratigrafia e paleogeografia Carbonífera da Bacia do Paraná. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, *Boletim*. Rio de Janeiro, v. 214, p. 1-113.
- Maheshwari, H. K. Provincialism in Gondwana floras. *The Palaeobotanist*. Lucknow, v. 40, p. 101-127, 1991.
- Maheshwari, H.; Bajpai, U. 2001. Phytostratigraphical Sucession in the *Glossopteris* Flora of India. *Revista Universidade Guarulhos*, v. 6, no. 6, p. 22-34.
- Maithy, P.K., 1965. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 17. On the genus *Rubidgea* Tate. *The Palaeobotanist*, 13(1), 42-43.
- Maithy, P.K., 1998. Morphotaxonomic re-evaluation of *Gangamopteris(?) buriadica* Feistmantel. *Journal of the Palaeontological Society of India*, 43, 85-88.
- Martini, P. & Rocha-Campos, A.C. 1991. Interglacial and early post - glacial, Lower Gondwana coal sequences in the Paraná Basin, Brazil. In: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 7., Proceedings...São Paulo: IG -USP/ FAPESP, p. 317-336.
- Martins, E. A.; Sena Sobrinho, M. 1950. Novos fósseis e a idade da Formação Maricá, Rio Grande do Sul. *Boletim do Museu Nacional: Nova Série: Geologia*. Rio de Janeiro, v. 8, p. 1-7.
- Martins, E. A. 1951. *Aviculopecren cambahyensis* n. sp. do Permocarbonífero do Rio Grande do Sul. *Boletim do Museu Nacional: Nova Série: Geologia*. Rio de Janeiro, v. 13, p. 1-5.
- Martins-Neto RG, Bernardes-de-Oliveira MEC, Ricardi-Branco F & Rösler O. 1999. Primeiro registro de *Grylloblatida* (Insecta, Pinideliidae), associado à tafoflora

- de Cerquilho, Paleozóico Superior da bacia do Paraná, Brasil. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA, 1, Guarulhos: UnG-NSP/SBP, 10 p.
- Martins-Neto R, Bernardes-de-Oliveira MEC, Rösler O, Ricardi-Branco F, Weinszhultz F & Perinotto JA. 2000. New Grylloblattidea (Insecta) from the Paraná Basin. Carboniferous Southeast, Brazil. In: INTERNATIONAL MEETING ON PALEOARTHROPODOLOGY, 1, Abstract, Ribeirão Preto:USP/RP, 33 p.
- McCoy, F., 1860. Commentary on "A Communication made by the Rev. W.B. Clarke to His Excellency Sir Henry Barkly, K.C.B., &c., President of the Royal Society of Victoria, on Professor McCoy's new Taeniopteris, &c., &c., Transactions of the Royal Society of Victoria, Melbourne, , v. 5, p. 96-107.
- McCoy, F., 1847. On the fossil botany and zoology of the rocks associated with the coal of Australia. *The Annals and Magazine of Natural History*, 20(132),145-157.
- Medeiros, R.A., 1971. Roteiro de excursão nº 2, Bacia do Paraná — Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo São Paulo. *Boletim Especial* 2, 15–28.
- Mendes, J.C. 1952. The Gondwana formations of southern Brazil: some of their stratigraphical problems, with emphasis on the fossil flora. *The Palaeobotanist*, 1:335-345.
- Milani, J.E. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-oriental*. Tese de Doutorado, 255p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Millan, J.H., 1977. Sementes platispérmicas do Eogondwana de Cerquilho, São Paulo (Bacia do Paraná). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 49 (4): 581-595.
- Millan JH. 1991. Novas ocorrências de sementes platispérmicas nos municípios de Itapeva, SP e Cerquilho, SP em tafofloras do Grupo Tubarão, Eogondwana da Bacia do Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 63: 96.
- Millan JH. 1995. Novas ocorrências de sementes platispérmicas em tafofloras associadas a camadas carbonosas do Grupo Tubarão, Eogondwana da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 67: 117-128.

- Millan, J.H. 1987. Os pisos florísticos do carvão do Subgrupo Itararé do Estado de São Paulo e suas implicações. *10º Congresso Brasileiro de Paleontologia* (Rio de Janeiro). *Anais*, 2: 832-857.
- Millan, J.H., 1989. Sobre a presença de formas foliares mais primitivas de glossopterídeas (gênero *Gangamopteris* no Município de Cerquilha, carvão do Eogondwana do Estado de São Paulo). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 61(2), 201-213.
- Millan, H. J. & Dolianiti, E. 1977. *Esfenófitas do Eogondwana de Cerquilha, São Paulo (Bacia do Paraná)*. 1 - Gênero *Paracalamites*. *An. Acad. bras. Ciênc*, 49 (3): 469-477.
- Millan, J. H. & Dolianiti, E. 1979. Esfenófitas do Eogondwana de Cerquilha, São Paulo (Bacia do Paraná). 2 – Gênero *Phyllothea*. *Asoc Latinoamer. Palobot. Palinol.*, Bol. 6: 1-4.
- Millan, J.H. & Dolianiti, E. 1980a. Esfenófitas do Eogondwana de Cerquilha, São Paulo (Bacia do Paraná). 3 – Gênero *Stephanophyllites*, gen. nov. *II Cong. Argentino Paleont. Bioestrat. y I Cong. Latinoamer. Paleont.*, Buenos Aires 1978, *Actas* 4: 113-127.
- Millan, J.H. & Dolianiti, E. 1980b. Sobre um novo "*fertiliger*" no Eogondwana de Cerquilha, São Paulo (Bacia do Paraná). *II Cong. Argentino Paleont. Bioestrat. y I Cong. Latinoamer. Paleont.*, Buenos Aires 1978, *Actas* 4: 129-137.
- Millan, J.H. & Dolianiti, E. 1981. *Cordaitales* do Eogondwana de Cerquilha, São Paulo (Bacia do Paraná). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 53 (4): 807-815.
- Millan, J.H. & Dolianiti, E. 1982. Sobre a presença do gênero *Rubidgea* no Eogondwana de Cerquilha, Subgrupo Itararé de São Paulo. *Boletim do Instituto de Geociências*, 13:43-134.
- Milani, E.J. & Zalán, P.V. 1999. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America. *Episodes*, 22(3): 199-205.
- Montañez, I.S., Tabor, J.N., Niemeier, D., DiMichele, W.A., Frank, T.D., Fielding, C.R., Isbell, J.L., Birgenheier, L.P. & Rygel, M.C., 2007. CO<sub>2</sub>-forced climate and vegetation instability during Late Paleozoic deglaciation. *Science*, 315, 87–91.

- Nagalli, J.T. & Consoni, J.O.C. 1984. Comportamento faciológico do intervalo que encerra as camadas de carvão na região de Cerquilha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Anais, Rio de Janeiro: SBG 2: 914–982.
- Pasqualini, M., Cunha, A.S., Guerra-Sommer, M., Piccoli, A.E.M., 1986. Análise paleoecológica de seqüências paleoflorísticas na área de Mariana Pimentel-Guaíba, RS. 34º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Goiânia, 2, pp. 556–569.
- Perinotto, J.A. 1987. *Análise estratigráfica da seqüência portadora de carvão na região de Cerquilha (SP)* 76p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1987.
- Paim, P.S.G., Piccoli, A.E.M., Sarturi, J.A.D., Munaro, P., Holz, M., Granitoff, W., 1983. Evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão na área de Mariana Pimentel-Faxinal, Guaíba, RS. I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Atas, Porto Alegre, 1, pp. 121–134.
- Pant, D.D. & Gupta, K.L. 1968. Cuticular structure of some Indian Lower Gondwana species of *Glossopteris*. *Palaeontographica*, 124B:45-81.
- Pant, D.D. & Singh, K.B. 1968. On the genus *Gangamopteris* McCoy. *Palaeontographica B*, 124 (4-6): 83-101, 6 est., 6 fig., 1 tab.
- Pant, D.D. & Singh, K.B. 1974. On the stem and attachment of *Glossopteris* and *Gangamopteris* leaves. Part II - Structural features. *Palaeontographica B*, 147 (1-3): 42-73, 13 est., 11 fig., 1 tab.
- Piccoli, A.E.M., Paim, P.S.G., Sarturi, J.A.D., Holz, M., Munaro, P., Granitoff, W., 1983. Geologia do Supergrupo Itararé na região de Mariana Pimentel-Faxinal, Guaíba, RS. 1º Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Atas, Porto Alegre, pp. 135–152.
- Piccoli, A.E.M., Menegat, R., Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M. & Porcher, C.C. 1991. Faciologia da seqüência sedimentar nas folhas de Quitéria e Várzea do Capivarita, Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 18(1): 31-43.
- Pinheiro, E.R.S. Tybusch, G.P. & Iannuzzi, R. 2012a. New evidence of plant-insect interactions in the Lower Permian from Western Gondwana. *The Palaeobotanist* 61(2012): 67-74.

- Pinheiro, E.R.S. Iannuzzi, R. & Tybusch, G.P. 2012b. Specificity of leaf damage in the Permian "Glossopteris Flora": a quantitative approach. *Review of Palaeobotany and Palynology* 174:113–121.
- Pinto, I. D. 1955. Série Maricá, Camaquan e Formação Teixeira Soares no Rio Grande do Sul. Histórico, idade e correlação. *Boletim do Instituto de Ciências Naturais*. Porto Alegre, v. 2, p. 1-18.
- Pinto, I. D. ; Purper, I. 1974. New scolecodonts from the Budó facies, Itararé Subgroup (Carboniferous?) of Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Rio de Janeiro, v. 46, n.3/4, p. 524-35.
- Pimentel, G.B & Godoy, H.K. 1983. Projeto na área Leão - Mariana Pimentel, RS. Relatório Interno. DNPM – CPRM. 154p.
- Putzer, H., 1952. Camadas de carvão mineral e seu comportamento no Sul de Santa Catarina. *Boletim Departamento Nacional de Produção Mineral* 91, 1-182.
- Retallack, G. J. 1980. Late Carboniferous to Middle Triassic megafossil floras from the Sydney Basin. In: HERBERT, C.; HELBY, R. (eds.). *A guide to the Sydney Basin*. New South Wales: Department of Mineral Resources- Geological Survey of New South Wales, 1980. p. 384-430. (Bulletin Geological Survey of New South Wales, 26).
- Ricardi-Branco F. & Bernardes-de-Oliveira MEC. 2000. *Gangamopteris roesleri* sp. nov., da Taoflora eopermiana de Cerquilha (SP), Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Brasil. *Rev Univ Guar Geo* (special number) p. 44–48.
- Ricardi-Branco F, Bernardes-de-Oliveira ME & Garcia MJ. 1999. Novos elementos tafoflorísticos da Formação Assistência, Subgrupo Irati, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, provenientes de Angatuba (SP), Brasil. *Geo* 4(6): 85–95.
- Rigby, J.F., 1970. The distribution of Lower Gondwana plants in the Paraná Basin of Brazil. 2° Gondwana Symposium, Proceedings and Papers, Pretoria, South Africa, pp. 575–584.
- Rigby, J.F. 1972a. The Notocalamitaceae, a new family of Upper Palaeozoic Equisetaleans. *The Palaeobotanist*, 19(2):161-163.
- Rigby, J.F. 1972b. On *Arberia* White and some related Lower Gondwana female fructifications. *Palaeontology*, 15(1):108-120.
- Rigby, J. F. 1972c. *The distribution of Lower Gondwana plants in the Paraná Basin of Brazil*. 2nd Int. Gondwana Symposium, Proceedings and Papers: 575-584, Pretoria.



- Rocha-Campos A.C., Canuto J.R., & Santos P.R. 2000. Late Paleozoic glaciotectionic structures in northern Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology* 130: 131–143.
- Roesler, G.A., Iannuzzi, R., Boardman, D.R., & Baroni, C.L. 2008. Uma nova espécie de *Phyllothea* Brongniart (Townrow) no Permiano Inferior da Bacia do Paraná, RS. *Gaea*, 4(1): 14-23.
- Rohn R. 1987. A Flora de *Glossopteris* primitiva de Cerquilho Velho, Formação Tietê, Permiano Inferior, SP, Brasil: Guia da Excursão. *Paleobotânica Latinoamericana* 8(1): 25–30.
- Rohn, R., Babinski, M.E.C.B. & Rösler, O. 1984. *Glossopteris* da Formação Rio do Rasto no sul do estado do Paraná: In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1984. *Anais*, Rio de Janeiro, p. 1047-1061.
- Rohn, R., Longhim, M.E., Bernardes-de-Oliveira, M.E. & Navarro, G.R.B., 2000. Nova ocorrência fitofossilífera Neocarbonífera-Eopermiana do Subgrupo Itararé, à margem esquerda do Rio Capivari, município de Tietê, SP, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, 5, 57-61.
- Rösler, O. 1972. Flora da Formação Rio Bonito no Estado do Paraná. Ph.D. Thesis, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, Brazil.
- Rösler, O. 1974. Novas Espécies de Sphenophyta na Formação Rio Bonito (Permiano) no Estado do Paraná. *Boletim do Instituto de Geociências — USP* 5, 17–28.
- Rösler, O. 1975. Tafloflóculas eogondwânicas do Brasil II: ocorrência de Rio da Estiva (Permiano – Formação Rio Bonito – Santa Catarina). *Boletim do Instituto de Geociências – USP*, 6: 1-11.
- Rösler, O. 1978. The Brazilian eogondwanic floral successions. *Boletim do IG-USP*, 9: 85-91.
- Rösler, O. 1979. Plantas Fósseis de São João do Trinfo (PR), Fm. Rio Bonito e suas implicações Geológicas: 2º Simpósio Regional de Geologia, Atas, Rio Claro, 1, pp. 181–194.
- Rösler, O. 1982. Coleções de megáfósseis vegetais do Instituto de Geociências (Departamento de Paleontologia e Estratigrafia), Universidade de São Paulo. *Boletim de la Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología*, Buenos Aires (8): 1-20.

- Salvi, J., Jasper, A., Ricardi-Branco, F., Guerra-Sommer, M. & Bernardes-de-Oliveira, M.E. 2008. The *Lycopodites* genus in the Lower Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 80(3): 1-11.
- Santos P.R., Rocha-Campos A.C. & Canuto J.R. 1996. Patterns of Late Paleozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 125(1/4): 165–184.
- Schimper, W. 1869-1870. *Traité de Paleontologie Vegetale*. Tomo 1, Paris, J.B. Boilliers et fils, 738 p.
- Seward, A.C., 1903. Floras of the Past: their composition and distribution. *Nature*, 8:556-68
- Seward, A.C., 1907. Permo-Carboniferous plants from Kashmir. *Record Geological Survey of India*, 36, 481-487.
- Silveira, A.S., 2000. Estratigrafia de Seqüências e Evolução Paleoambiental da Sucessão Permiana (Sakmariano–Eokazaniano) da Bacia do Paraná, entre Rio Pardo e Mariana Pimentel (RS). Master's Dissertation, Universidade Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brazil.
- Schneider, R.L., Muhlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F. & Nogueira A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. *1º Congresso Brasileiro de Geologia* 1: 41-65.
- Souza, P.A. & Marques-Toigo, M. 2003. An overview in the Palynostratigraphy of the Upper Paleozoic strata of the Brazilian Paraná Basin. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturais*, 5: 205-214.
- Souza, J.M. & Iannuzzi, R., 2007. Sementes do gênero *Samaropsis* Goeppert no Permiano Inferior da Bacia do Paraná, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 10 (2), 93-106.
- Souza, J.M. & Iannuzzi, R., 2009. The genus *Cordaicarpus* Geinitz in the Lower Permian of the Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 12 (1), 5-16.
- Srivastava, A.K. 1991. Evolutionary tendency in the venation pattern of Glossopteridales. *Geobios*, 4(24):383-386.
- Srivastava, A. K. & Agnihotri, D. 2010. Morphological consequence of *Gangamopteris* McCoy in *Glossopteris* flora. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39, p. 760-769.

- Stewart, W.N. & Rothwell, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. 1<sup>a</sup> ed. Cambridge University Press, 521 p.
- Tate, R. 1867. *On some Secondary Fossils from South Africa*. Quart. Journ. Geol. Soc, 23: 139-174.
- Tybusch, G.P. 2005. *Análise taxonômica de tipos foliares de glossopterídeas em depósitos do Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul: Rubidgea spp., Gangamopteris spp., Glossopteris occidentales, G. browniana*. Dissertação de Mestrado, 102p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS
- Tybusch, G.P. & Iannuzzi, R. 2008. Reavaliação Taxonômica dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11: 73-86.
- Tybusch, G.P. & Iannuzzi, R. 2010. *Glossopteris occidentalis* White emended: geographic and biostratigraphic implications. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 13(1), 33-40.
- Tybusch, G.P. & Iannuzzi, R. Absence of the genus *Rubidgea* in the taoflora of Cerquilho, sp (Lower Permian of the Paraná Basin) and its biostratigraphic consequences. *GEOBIOS*, submetido.
- Tybusch, G.P.; Iannuzzi, R. & Frank, H. T. Nova espécie do gênero *Gangamopteris* no Permiano Inferior da Bacia do Paraná, rs, Brasil". *São Paulo, UNESP, Geociências*, v. 28, n. 3, p. 295-303, 2009.
- Tybusch, G.P.; Iannuzzi, R. & Rösler, O. 2012. Estudo das glossopterídeas do afloramento de Rio da Estiva, estado de Santa Catarina (Permiano Inferior da Bacia do Paraná). *Pesquisas em Geociências*, 39 (1): 23-33.
- Tybusch, G.P.; Iannuzzi, R.; Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. & Lopes, R.C. Reevaluation of glossopterids from Cambaí Grande Outcrop, RS (Lower Permian of Paraná Basin). IN: *Second Indo-Brazilian Symposium on Glimpses of Gondwana Research, Revista Geologia USP*, submetido.
- Vieira, C.E.L. & Iannuzzi, R., 2000. Presença de *Pecopteris* e *Asterotheca* no Afloramento Morro do Papaléo, município de Mariana Pimentel, RS (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná). *Pesquisas — UFRGS* 2 (27), 49–64.

- Vieira, C.E.L., Iannuzzi, R. & Guerra-Sommer, M., 2007. Revisão de Pecopterídeas Polimórficas do Neopaleozóico da América do Sul. *Revista Brasileira de Paleontologia* 10 (2), 107-116.
- Wagner, R.H. 1984. Megafloral Zones of the Carboniferous. *9º Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère*, 1979, Washington and Champaign-Urbana, U.S.A. *Compte Rendu*. Washington and Champaign-Urbana, Southern Illinois University Press, 2: 109-134.
- White, I.C. 1905. Flora of the Brazilian coal measures. *Science*, New York, 11(04):700.
- White, I.C. 1908. *Relatório Final sobre as coal measures e rochas associadas do sul do Brasil*. Rio de Janeiro, 300p. (Relatório Comissão das Minas de Carvão da Pedra do Brasil).
- Zacharias, A.A. & Assine, M.L., 2005. Modelo de preenchimento de vales incisos por associações de fácies estuarinas, Formação Rio Bonito no Norte do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 35 (4), 573-583.
- Zeiller R. 1896. Note sur Flore Fossile des Gisements Houillers de Rio Grande do Sul (Bresil Meridionale). *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 3(23): 601-29.
- Zingano, A. G. & Cauduro, A. D., 1959. Afloramentos fossilíferos do Rio Grande do Sul. *Boletim do Instituto de Ciências Naturais*. Porto Alegre, v. 8, p. 1-48.

## **PARTE II**

**Corpo principal da tese**  
**Manuscritos publicados ou submetidos em forma de artigo**  
**científico**

## Capítulo 1

“Reavaliação taxonômica dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Brasil”. GRACIELA PEREIRA TYBUSCH & ROBERTO IANNUZZI. *Rev. bras. paleontol.* 11(2):59-68, Maio/Agosto 2008.

## REAVALIAÇÃO TAXONÔMICA DOS GÊNEROS *GANGAMOPTERIS* E *RUBIDGEA*, PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL

GRACIELA PEREIRA TYBUSCH & ROBERTO IANNUZZI

Depto. de Paleontologia e Estratigrafia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil.  
*gracielatybusch@yahoo.com.br; roberto.iannuzzi@ufrgs.br*

**RESUMO** – Os megafósseis vegetais aqui estudados são provenientes de diversos afloramentos do Permiano Inferior da bacia do Paraná, no Estado do Rio Grande do Sul, e compõe-se tanto de espécimes inéditos, como de material já descrito, atribuídos em parte ao gênero *Rubidgea* e, em parte, ao gênero *Gangamopteris*. O presente trabalho teve como objetivo a reavaliação taxonômica de espécimes preservados sob forma de impressões e incluídos em ambos os gêneros. Dezenove e 40 espécimes provenientes dos afloramentos Morro do Papaléo e Quitéria respectivamente, foram analisados, enquanto para os afloramentos Acampamento Velho, Faxinal, Pedreira e Cambaí Grande foram revisados dez espécimes. Foi constatado que todos os espécimes anteriormente atribuídos a *Rubidgea* pertencem a *Gangamopteris*, já que se enquadram na diagnose original deste último. Deste modo, conclui-se que o gênero *Rubidgea* não é reconhecido para o Permiano do Rio Grande do Sul. Além disso, três espécies já descritas e uma nova espécie de *Gangamopteris* foram registradas neste estudo: *G. obovata*, *G. obovata* var. *major*, *G. buriadica* e *G. revoluta* nov. sp. As amplitudes estratigráficas de todas as espécies são também fornecidas. Por último, as feições diagnósticas, em nível genérico, das folhas de glossopterídeas foram brevemente discutidas, dando-se especial ênfase às definições dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*.

**Palavras-chave:** *Gangamopteris*, *Rubidgea*, bacia do Paraná, Permiano Inferior, Rio Grande do Sul, Brasil.

**ABSTRACT** – The plant megafossils studied herein have been recovered in several outcrops from the Lower Permian strata of the Paraná Basin in Rio Grande do Sul State, and represent both unpublished and described material. Based on these materials, this paper deals with the taxonomic reevaluation of the *Rubidgea* and *Gangamopteris* genera. Nineteen and 40 specimens from the Morro do Papaléo and Quitéria outcrops were analyzed, respectively, and other 10 specimens from Acampamento Velho, Faxinal, Pedreira and Cambaí Grande outcrops were also studied. The revision confirms that all specimens previously included in *Rubidgea* could be transferred to genus *Gangamopteris* since they correspond to original diagnosis of this last genus. In conclusion, the genus *Rubidgea* is not assigned to the Permian deposits of state. Besides, three known species and a new species of genus *Gangamopteris* were assigned herein, as follow: *G. obovata*, *G. obovata* var. *major*, *G. buriadica* and *G. revoluta* nov. sp. The stratigraphic ranges of all species are also provided. Finally, the generic diagnostic features of glossopterid leaves were briefly discussed, giving a special emphasis to definition of genera *Gangamopteris* and *Rubidgea*.

**Key words:** *Gangamopteris*, *Rubidgea*, Paraná Basin, Lower Permian, Rio Grande do Sul State, southern Brazil.

### INTRODUÇÃO

As folhas de glossopterídeas estão entre as plantas fósseis onde a classificação e nomenclatura se encontra menos elucidada, principalmente devido a sua peculiar venação secundária e à ausência, na maioria dos casos, de cutículas ou frutificações conectadas. Na Bacia do Paraná, destaca-se a presença de três morfogêneros de folhas de glossopterídeas, i.é *Rubidgea* Tate, *Gangamopteris* McCoy e *Glossopteris* Brongn, compostos por várias espécies de ampla distribuição geográfica e/ou estratigráfica.

O gênero *Rubidgea* foi descrito, pela primeira vez no Brasil para o Grupo Itararé do Rio Grande do Sul, como *Rubidgea*

sp., por Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980). Posteriormente, sem descrever os espécimes, *Rubidgea obovata* Maithy e *Rubidgea lanceolatus* Maithy foram mencionadas e ilustradas para os afloramentos de Acampamento Velho, Morro do Papaléo, Fazenda Goulart e Faxinal, referentes a depósitos do topo do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul (Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980; Guerra-Sommer *et al.*, 1980; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1981).

No trabalho de Millan & Dolianiti (1982) foi proposta uma emenda à diagnose original de Tate (1867) ao gênero *Rubidgea*, com ênfase na adição de caracteres da morfologia foliar (i.é, forma do limbo, ápice, base e margens). Os autores descreveram ainda quatro espécies do gênero procedentes

do Sítio Itapema, em Cerquilha, São Paulo, relativos aos depósitos do topo do Grupo Itararé, a saber: *R. obovata* e *R. lanceolata*, e duas espécies novas, *R. lanceolata* var. *truncata* e *R. itapemensis*.

Por fim, em Rohn *et al.* (2000) é noticiada uma tafoflora, de idade neocarbonífera a eopermiana, do Grupo Itararé, às margens do rio Capivari, em Tietê, São Paulo, composta predominantemente por: *Rubidgea* sp., *Gangamopteris* sp., *Noeggerathiopsis*?, *Samaropsis* sp., esfenófitas e algumas frutificações. No entanto, os autores não descrevem, mas apenas mencionam e ilustram com fotos, os espécimes referentes aos gêneros *Rubidgea* e *Gangamopteris*.

O primeiro conhecimento do gênero *Gangamopteris* no Brasil foi dado a saber através do trabalho de Carruthers (1869, *apud* Dolianiti, 1954b), onde o autor determinou como *Noeggerathia obovata* um espécime proveniente da região de Candiota, no Rio Grande do Sul, o qual foi considerado mais tarde por Zeiller (1895, *apud* Dolianiti, 1954b) como *Euryphyllum wittianum*. Este espécime foi posteriormente reconhecido por Arber (1905) e Seward (1908) como idêntico a *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel. No entanto, White (1908), ao estudar a flora fóssil associada aos carvões brasileiros, comentou de modo conclusivo que havia a prioridade do nome específico “*obovata*” sobre o epíteto “*cyclopteroides*”, da Índia. Lundquist (1919, *apud* Dolianiti, 1954b) aceitou a proposição de White (1908) e considerou *G. cyclopteroides* Feistmantel como sinônimo júnior de *G. obovata* (Carr.) White.

Dolianiti (1954a) descreveu duas espécies do gênero *Gangamopteris* até então inéditas para o Gondwana brasileiro, a saber: *Gangamopteris angustifolia* McCoy e *G. buriadica* Feistmantel. Estas foram coletadas em afloramentos do topo do Grupo Itararé (= antiga Formação Maricá), na localidade de Acampamento Velho, Rio Grande do Sul, representando, na época, um significativo enriquecimento para o conhecimento da “Flora *Glossopteris*” brasileira. Já em Dolianiti (1954b), dando continuidade a uma série de pesquisas realizadas com vegetais fósseis da localidade de Bainha, município de Criciúma, Santa Catarina, o autor descreveu uma variedade já conhecida, *Gangamopteris obovata* var. *major* Feistmantel, e outra nova, *Gangamopteris buriadica* McCoy var. *acrodeltoidis*, além de uma espécie nova, *Gangamopteris mosesi*.

Posteriormente, no trabalho de Millan (1989) foram identificadas quatro espécies do gênero *Gangamopteris* na tafoflora do Sítio Itapema, em Cerquilha, São Paulo, para o topo do Grupo Itararé, a saber: *Gangamopteris obovata*, *G. angustifolia* McCoy, *G. stephensonii* Plumstead e uma espécie nova, *G. dolianitii*. Recentemente, Ricardi-Branco & Bernardes de Oliveira (2000) fazem uma nova contribuição ao conhecimento do gênero na tafoflora do Sítio Itapema ao descrever uma espécie nova referente a um ramo foliar, *Gangamopteris roesleri*.

O principal objetivo desta contribuição é a reavaliação das formas de folhas de *Glossopteridales* ditas “*gangamopteróides*”, ou seja, que não possuem o desenvolvimento de uma nítida venação mediana,

encontradas no Permiano Inferior da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul. Como o material estudado foi atribuído, em parte, ao gênero *Rubidgea* e, em parte, ao gênero *Gangamopteris*, também foi necessária uma reavaliação dos critérios morfológicos que os diagnosticam.

Foram revisados dez espécimes de formas anteriormente descritas (Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980; Guerra-Sommer *et al.*, 1980; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1981) identificados nos afloramentos Acampamento Velho, Faxinal, Pedreira, e Cambaí Grande. O contexto geológico destes afloramentos pode ser encontrado nos trabalhos de Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980), Guerra-Sommer *et al.* (1980) e Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993). Todos estes afloramentos foram considerados por aqueles autores como expondo níveis do Grupo Itararé, no Rio Grande do Sul, sem que, no entanto, tenham sido explicitados de modo mais preciso aqueles de onde provêm os espécimes. Os níveis fossilíferos foram apenas assinalados. Já os espécimes inéditos analisados provêm dos afloramentos Morro do Papaléo, e Quitéria, de níveis relativos tanto ao Grupo Itararé quanto à Formação Rio Bonito, no Rio Grande do Sul.

O afloramento Morro do Papaléo (coordenadas UTM N 6620; E 490) situa-se 8 km a noroeste do centro do município de Mariana Pimentel e cerca de 80 km de Porto Alegre. A descrição atualizada do afloramento encontra-se em Iannuzzi *et al.* (2003a, b; 2006). Foram coletados 18 espécimes na porção média da seção aflorante descrita, correspondente ao Nível 4 de Iannuzzi *et al.* (2003a, b) ou a Biofácies A de Vieira & Iannuzzi (2000), os quais se encontram preservados em siltitos esbranquiçados interpretados como tendo sido gerados na margem de um corpo d’água lacustre/lagunar, correspondente a níveis do Grupo Itararé. Já na porção superior da seção, em níveis correspondentes aos Níveis 7 e 8 de Iannuzzi *et al.* (2003a, b) ou relativos à Biofácies D de Vieira & Iannuzzi (2000), obtiveram-se 13 espécimes, ambos preservados em matriz siltíca-argilosa gerada em uma planície de inundação, dentro de um sistema fluvial do tipo anastomosado, correspondente a Formação Rio Bonito.

O afloramento de Quitéria é uma antiga pedreira localizada no município de Pantano Grande (UTM N 6643183; E 0387516), à cerca de 130 km de Porto Alegre. A descrição da seção aflorante foi feita por Piccoli *et al.* (1991), Jasper (2004) e Jasper *et al.* (2006). As amostras totalizaram 40 espécimes, provenientes da camada cinza-amarelada situada no topo da seção aflorante, e constituída de argilito, siltito e areia fina, em uma sucessão granocrescente. Este nível corresponde à Biofácies H de Piccoli *et al.* (1991) e a fácies FS VI, horizontes c-d, de Jasper *et al.* (2006), correspondentes ao topo da Formação Rio Bonito na região e onde foram coletados caules de licófitas *in situ*.

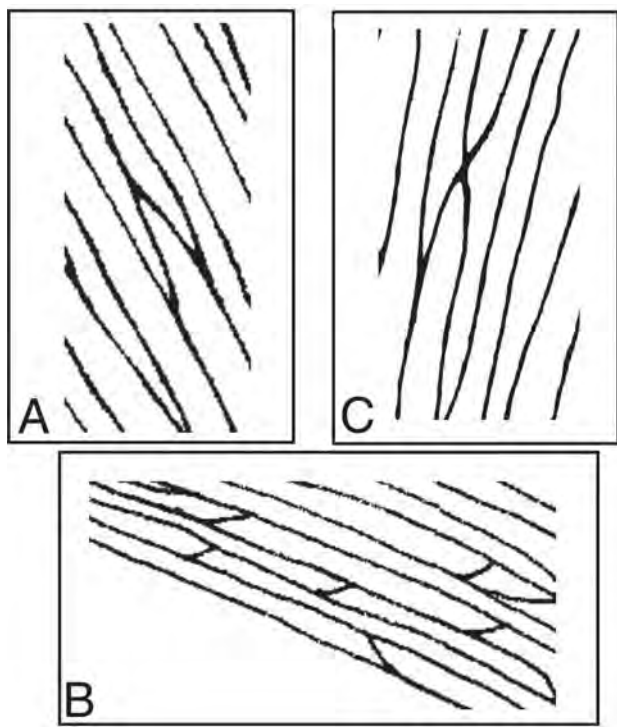
## MATERIAL E MÉTODOS

Todos os espécimes aqui referidos encontram-se preservados sob forma de impressões, sendo alguns compostos por partes e contra-partes. O estudo do material seguiu a metodologia padrão utilizada em Paleobotânica para



análise de impressões/compressões, como segue: observação em lupa binocular, medições a partir de paquímetro e régua, ilustrações elaboradas com auxílio de material fotográfico e câmara clara. Para realizar a descrição e comparação dos espécimes, características morfográficas, tais como forma do limbo e tipos de ápice e de base foliar, foram definidas de acordo com a classificação adotada por Chandra & Surange (1979). Para obtenção das características referentes à densidade de venação, aos ângulos de emergência e divergência da venação secundária e à largura máxima da venação mediana, foram utilizados os parâmetros e as técnicas descritas por Rohn *et al.* (1984). Com a finalidade de sistematizar, ou mesmo estimar, o tamanho foliar aproximado dos espécimes, mesmo aqueles relativamente incompletos, foi empregada a classificação relativa às dimensões dos megáfílos, proposta por Ash *et al.* (1999).

Com o objetivo de tornar clara a descrição dos tipos de anastomoses presentes na venação da lâmina foliar dos espécimes estudados, estipularam-se três categorias assim definidas: a) conexões oblíquas: originadas a partir da bifurcação, em ângulos agudos, de veias secundárias vizinhas que seguem paralelamente em direção à margem; b) conexões transversais: originadas de veias transversais (subparalelas às veias medianas, ou feixe central, ou em ângulos quase retos) que conectam veias secundárias vizinhas que seguem paralelamente em direção à margem foliar; c) conexões em X: originadas do encontro ou cruzamento de veias secundárias vizinhas, que seguem paralelamente em direção à margem foliar (Figura 1).



**Figura 1.** Tipos de anastomoses em folhas de glossopterídeas: **A**, conexão oblíqua; **B**, conexão transversal; **C**, conexão em “X”.

**Figure 1.** Distinct types of anastomoses present in glossopterid leaves: **A**, oblique connection; **B**, transversal or cross-connection; **C**, X-type connection.

O material paleobotânico analisado encontra-se depositado no Museu de Paleontologia (MP), do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia (DPE), do Instituto de Geociências (IG), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), tendo sido catalogados sob a sigla MP-Pb. A sistemática supra-genérica segue a estabelecida por Stewart & Rothwell (1993).

## SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA

### Morfogênero *Rubidgea*

O nome genérico *Rubidgea* foi primeiramente instituído por Tate (1867) para dois espécimes provenientes da África do Sul, denominados de *R. mackayi*. Estes apresentavam como principais características diagnósticas a presença de uma venação dicotômica, desprovida de anastomoses e nervura mediana proeminente. Desde então, nenhuma outra ocorrência do gênero foi assinalada no Gondwana até que Maithy (1965a) noticiou sua presença nas formações carboníferas de Giridih, em Bihar, Índia, descrevendo duas novas espécies: *R. obovata* e *R. lanceolatus*.

Arber (1905), em face da ausência de uma fotografia do espécime original de Tate (1867), posicionou o gênero como uma forma “*incertae sedis*”. Seward (1907) sinonimizou *R. mackayi* em *Glossopteris indica*, considerando o desenho de Tate (1867) inexato e acreditando que, aparentemente, o espécime original tenha se extraviado, uma vez que desde que o gênero foi descrito ele nunca mais fora visto. Kovács-Endrödy (1977), por sua vez, confirmou a suposição de Seward (1907) após realizar um estudo em larga escala de impressões foliares encontradas em uma pedreira próxima ao Hammanskraal, na África do Sul. Analisando uma folha praticamente inteira, com impressões nítidas das superfícies superior e inferior preservadas (parte e contra-parte), a autora percebeu que as impressões em ambas superfícies eram diferentes, a adaxial típica de *Rubidgea* (= folha sem anastomoses) enquanto que a abaxial era típica de *Glossopteris* (= folha com anastomoses e venação mediana proeminente), sendo, em alguns casos possível de ser observado na mesma impressão foliar, os dois tipos de superfícies. Segundo ela, isto ocorria porque a maioria das plantas mostra impressões da superfície superior sem traços marcantes e nervuras salientes. Quanto à ausência de uma venação mediana, Kovács-Endrödy (1977) acredita que haja uma dificuldade inerente à interpretação do que representaria, na verdade, uma “venação mediana” nas folhas das glossopterídeas. Este fato, juntamente com o de que as diferenças entre as superfícies superior e inferior das folhas de glossopterídeas são usualmente ignoradas nos demais estudos, levou Kovács-Endrödy (1977) a sinonimizar a espécie tipo de *Rubidgea* no gênero *Glossopteris*, designando-a como *Glossopteris mackai* (Tate) Kovács comb. nov.

Apesar dos autores crêem que situações como a descrita por Kovács-Endrödy (1977), onde há distorções tafonômicas, serem plenamente plausíveis, no presente trabalho se aceita a posição de Maithy (1965) na qual se considera *Rubidgea*

como um morfogênero ainda válido, uma vez que a refutação do mesmo dependeria de um exame mais acurado dos espécimes indianos. Além disso, restaria também a análise dos espécimes provenientes do Grupo Itararé, em São Paulo, classificados em *Rubidgea* por Millan & Dolianiti (1982).

### Morfogênero *Gangamopteris*

O gênero *Gangamopteris* foi originalmente descrito por McCoy (1847), primeiramente como *Cyclopteris angustifolia*, uma folha mostrando um padrão de venação típica de *Glossopteris*, mas sem venação mediana nítida. Posteriormente, após McCoy (1860, *apud* Maithy, 1966) ter examinado um grande número de espécimes coletados no Bacchus-Marsh Sandstone, em Victoria, Austrália, chegou à conclusão de que as anastomoses das veias e a ausência de venação mediana eram características constantes nestas folhas de glossopterídeas e, por esta razão, ele propôs o novo nome genérico *Gangamopteris* para este tipo foliar. Na presente contribuição, considera-se válido o morfogênero *Gangamopteris*, assim como definido por McCoy.

### *Rubidgea* versus *Gangamopteris*

A classificação das folhas de glossopterídeas, especialmente quando se tratam apenas de impressões, é cercada de uma série de aspectos que dificultam sua precisa inserção taxonômica. Diversos autores já expressaram dúvidas sobre a viabilidade de sua classificação quando frutificações ou cutículas estão ausentes (Arber, 1902; Arber, 1905; Seward, 1907; Seward, 1910; Walkom, 1922; Surange & Srivastava, 1956; Maithy, 1966; Kovács-Endrödy, 1977; Chandra & Surange, 1979). Quando se têm apenas impressões de folhas, a identificação de cada morfogênero é baseada nas características do padrão de venação (presença/ausência de venação mediana e tipo de venação secundária); forma e tamanho são feições que têm sido relevantes apenas quando as morfoespécies apresentam um padrão de venação muito semelhante entre si.

Srivastava (1991), no seu trabalho sobre tendência evolucionária da venação secundária das glossopterídeas, separa os gêneros em duas categorias baseado na ausência (morfogêneros *Euryphyllum*, *Rubidgea*, *Palaeovittaria* e *Rhadotaenia*) ou presença (*Gangamopteris*, *Glossopteris* e *Belemnopteris*) de malhas de veias. Dentro de cada categoria existe uma variação de formas sem venação mediana, formas intermediárias e formas com venação mediana proeminente.

Millan & Dolianiti (1982), para distinguir *Rubidgea* dos demais gêneros de glossopterídeas, também se basearam nas características do padrão de venação e enfocaram o formato foliar e tamanho apenas para determinar as diferentes espécies de *Rubidgea*. Já Maithy (1998) apresentou exemplos de como a natureza da venação é a característica mais importante na identificação dos morfogêneros nas folhas de glossopterídeas.

Levando-se em consideração o exposto acima, os espécimes aqui estudados são classificados com base nas características do padrão de venação. Deste modo, *Gangamopteris* é um tipo foliar caracterizado pela ausência

de uma venação mediana (apresenta, no máximo, um sulco mediano e/ou um feixe de veias subparalelas na porção central) e pela presença de um padrão de venação formando malhas ou anastomoses ao longo da lâmina. Por sua vez, a ausência destes aspectos anatômicos caracterizaria o morfogênero *Rubidgea*.

Divisão TRACHEOPHYTA  
Classe GYMNOSPERMOPSIDA  
Ordem GLOSSOPTERIDALES  
*Gangamopteris* McCoy 1847

**Espécie-tipo.** *Cyclopteris angustifolia* McCoy 1847 (*G. angustifolia* McCoy 1875)

*Gangamopteris revoluta* nov. sp.  
(Figuras 2, 3)

*Gangamopteris angustifolia* (*auct. non*) McCoy 1875. Côrrea da Silva & Arrondo, 1977:40, est.1, fig.4.

*Gangamopteris angustifolia* (*auct. non*) McCoy 1875. Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980:59, est.1, fig.8.

*Rubidgea* sp. Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980:59, est.2, fig.1.

*Rubidgea* sp. Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980:67, est.3, fig.5.

*Gangamopteris angustifolia* (*auct. non*) McCoy 1875. Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980:6, est.3, fig.14.

*Rubidgea* sp. Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1981:137, est.2, fig.6.

*Rubidgea lanceolatus* (*auct. non*) Maithy 1965a. Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993:65, pl.1, fig.4.

**Holótipo.** MP-Pb 3736.

**Parátipos.** Afloramento Morro do Papaléo: MP-Pb 2389, 2390 A, 2390 B, 3458, 4410, 4411; Afloramento Acampamento Velho: MP-Pb 2276; Afloramento Cambaí Grande: MP-Pb 3099.

**Localidade-tipo.** Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS.

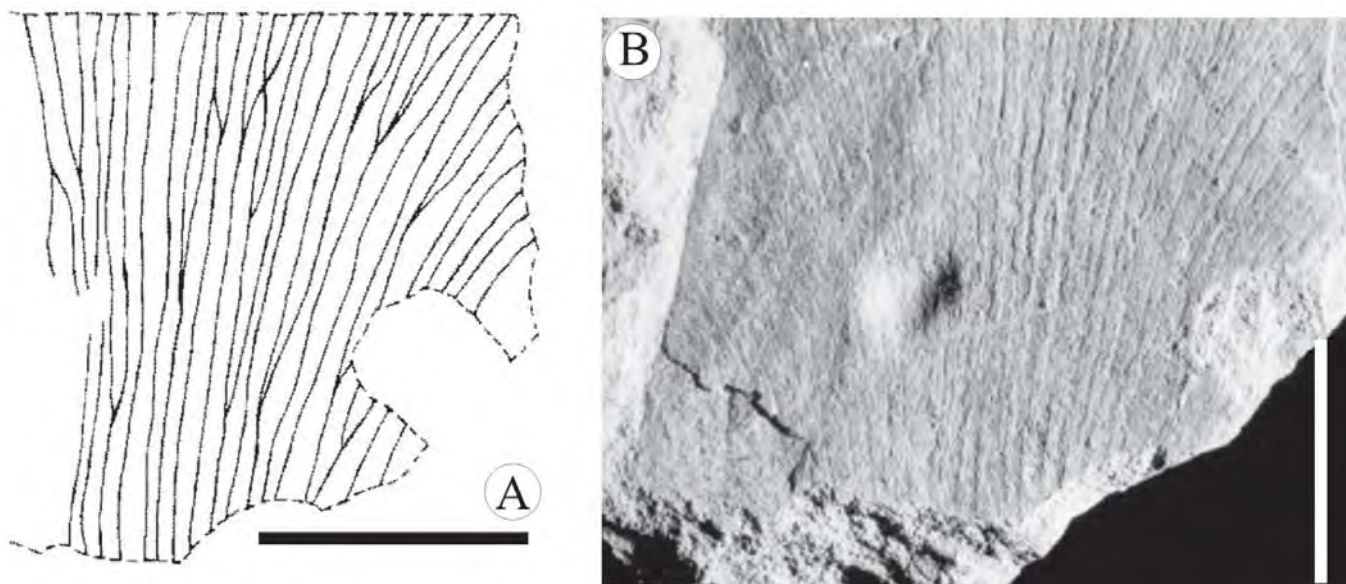
**Ocorrência.** Níveis fossilíferos 4 (= N4), no topo do Grupo Itararé, e 8 (= N8), na Formação Rio Bonito, conforme Iannuzzi *et al.* (2003a,b).

**Idade.** Permiano (Sakmariano tardio - Artinskiano precoce).

**Etimologia.** Em alusão ao fato do limbo ser acentuadamente enrolado sobre si mesmo, em direção a sua provável superfície inferior, uma das principais características diagnósticas da espécie.

**Etymology.** Name referring to a strongly curled lamina towards its possible lower surface; it is one of the main diagnostic features of this species.

**Diagnose.** Folhas simples, de margens inteiras, simétricas, pequenas, de limbo enrolado e forma lanceolada a estreitamente oblonga; ápice agudo e base ausente. Região mediana ocupada por veias subparalelas e por um estreito sulco que se estende ao longo da lâmina. Veias laterais curvando-se ligeiramente para os bordos foliares, em ângulos de 12° a 25°, nas regiões mais inferiores e próximas às margens foliares, e 5° a 10°, nas regiões mais superiores e próximas à região mediana; as veias bifurcam-se várias vezes, principalmente próximo aos bordos. As anastomoses, em geral raras, são formadas por conexões do tipo oblíquas,



**Figura 2.** *Gangamopteris revoluta* nov. sp., espécime MP-Pb 2276: **A**, desenho mostrando venação; **B**, foto mostrando em detalhe o padrão da venação. Escala = 1cm.

**Figure 2.** *Gangamopteris revoluta* nov. sp., specimen MP-Pb 2276: **A**, drawing showing the venation pattern; **B**, photo showing a detail of the venation pattern. Scale bar = 1cm.

transversais e raramente em forma de “X”, dando origem a retículos alongados e poligonais, sendo mais frequentes nas áreas próximas às margens das folhas.

**Diagnósis.** *Simple small leaves with entire and symmetric margins, lanceolate- to narrowly oblong shapes and strongly curled lamina, tapering to elongate acute apex; base unknown. The median leaf regions show subparallel veins and a narrow furrow extending from the basal region up to apices. Lateral veins curving slightly towards leaf margins, at angles of 12° to 25°, in the basal region near lateral leaf margins, and at angles of 5° to 10°, in the apical region near to median leaf area; veins forking several times, mostly near margins. The anastomoses are generally rare and arise from oblique-, transversal- or X-type vein connections, giving rise to elongate and polygonal meshes; they occur in highest frequency near to leaf margins.*

**Descrição.** Folhas simples, de margens inteiras, simétricas, todas notófilas, com apenas um ápice preservado e bases foliares sempre ausentes, encontrando-se, em sua maioria, apenas a região mediana preservada. O limbo é acentuadamente enrolado sobre si e de forma lanceolada nos espécimes MP-Pb 2276 e 3736 e estreitamente oblonga nos demais espécimes; o ápice é agudo (MP-Pb 2276). No comprimento das folhas o menor valor medido foi de 8,4 cm (MP-Pb 2389) e o maior de 14,7 cm (MP-Pb 3736); a largura foliar apresenta o menor valor medido de 2,2 cm (MP-Pb 3099) e o maior de 3,8 cm (MP-Pb 3736). A região mediana é ocupada por veias subparalelas e um estreito sulco que se estende ao longo de toda a lâmina. As veias laterais curvam-se para os bordos foliares em ângulos de 12° (MP-Pb 2390) a 25° (MP-Pb 3736) nas regiões mais inferiores e próximas a margens foliares, e de 5° (MP-Pb 2390, 3099) a 10° (MP-Pb 3736), nas regiões mais apicais e próximas à região mediana; as veias

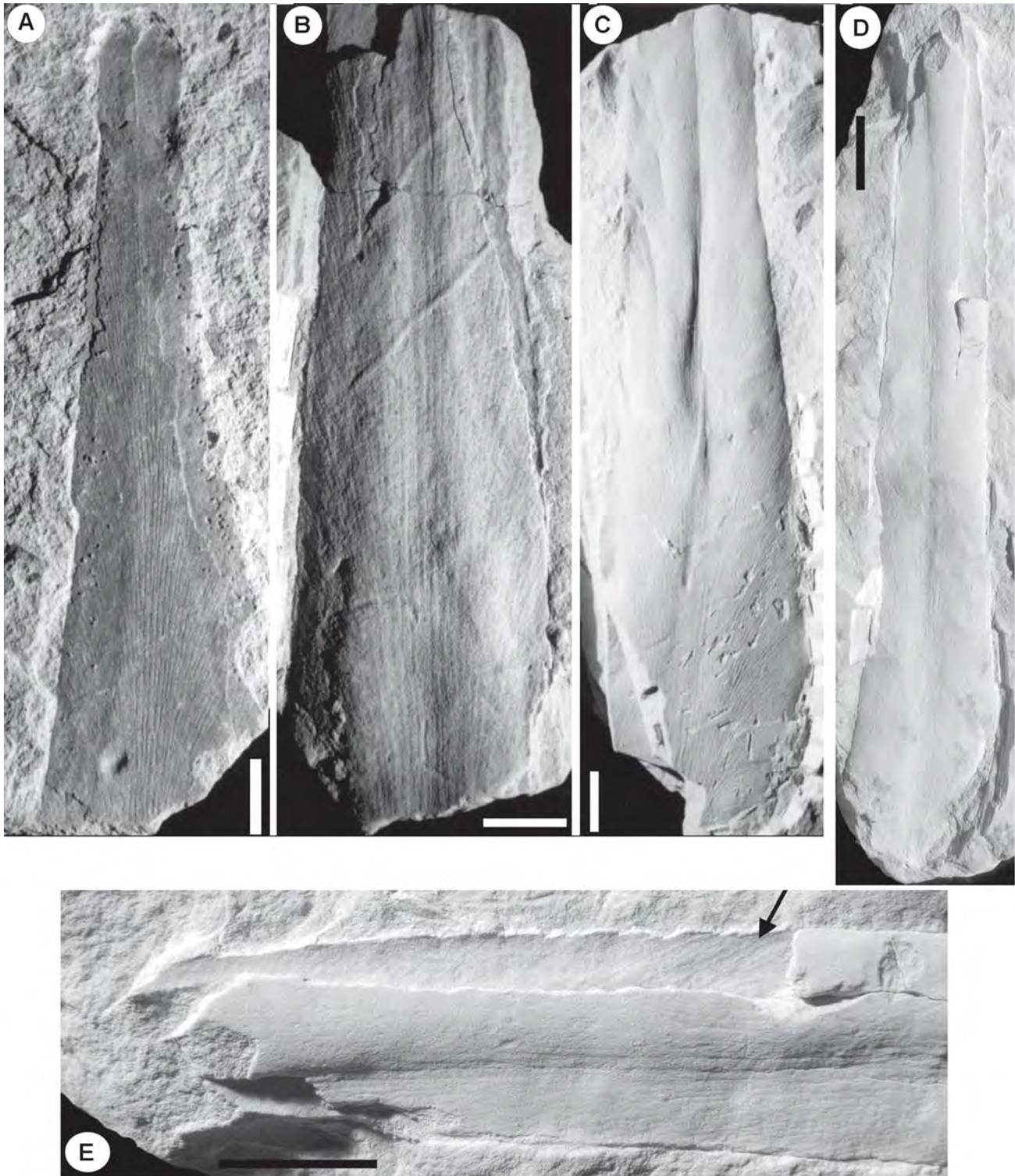
bifurcam-se várias vezes, principalmente próximo aos bordos foliares, onde também ocorrem com maior frequência as anastomoses que são formadas por conexões oblíquas, transversais e, mais raramente, em “X”, embora as anastomoses ocorram, como um todo, em pouca quantidade ao longo das folhas. Os retículos têm formatos alongados a poligonais (Figura 2 a,b).

**Observações.** O formato descrito para o limbo é apenas sugestivo pelo fato das folhas encontrarem-se enroladas sobre si mesmas, o que impede uma observação da real forma do mesmo. O enrolamento do limbo pode ser comprovado ao se analisar os espécimes MP-Pb 2389 e MP-Pb 3099 que apresentam a continuidade das porções laterais dos limbos aparecendo por baixo das porções mais centrais, que foram previamente removidas. Nestas porções laterais subjacentes se observa, por conseguinte, que as nervuras correm nitidamente no sentido inverso às das partes sobrejacentes do limbo foliar (Figura 3d, e).

**Discussão.** A re-análise dos espécimes classificados como *Rubidgea* nos trabalhos de Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980), Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1981) e Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), mostrou que os mesmos apresentavam anastomoses entre as veias ao longo do limbo foliar, formando malhas. Logo, optou-se aqui por classificá-los dentro do gênero *Gangamopteris*, uma vez que este suporta a presença de retículos, como já discutido acima, no subitem “*Gangamopteris* versus *Rubidgea*”.

Em nível específico, o material estudado assemelha-se, quanto ao formato do limbo, com as espécies *Gangamopteris mosesi* Dolianiti (Archangelsky, 1957) e *G. angustifolia* McCoy (Feistmantel, 1879; Dolianiti, 1954a; Archangelsky, 1957; Plumstead, 1962; Rigby & Chandra, 1990). Contudo, a forma aqui descrita difere de *G. mosesi* por apresentar a região





**Figura 3.** *Gangamopteris revoluta* nov. sp.: **A**, parátipo MP-Pb 2276, folha lanceolada e limbo enrolado com ápice agudo; **B**, parátipo MP-Pb 2389, folha estreitamente oblonga e limbo enrolado, com sulco na região mediana; **C**, holótipo MP-Pb 3736, folha lanceolada de limbo enrolado, com estreito sulco na região mediana e veias laterais curvando-se acentuadamente em direção às margens nas regiões inferiores; **D, E**, parátipo MP-Pb 3099 (**D**) folha de limbo enrolado e forma estreitamente oblonga, com sulco mediano, (**E**) detalhe da folha apresentando a continuidade da porção marginal do limbo que parece por de trás de uma porção removida do mesmo, com as veias correndo no sentido inverso às da porção superior do limbo foliar (seta). Escalaa = 1cm

**Figure 3.** *Gangamopteris revoluta* nov. sp.: **A**, paratype MP-Pb 2276, lanceolate leaf with enrolled lamina and acute apex; **B**, paratype MP-Pb 2389, narrow oblong leaf with enrolled lamina and a narrow furrow in the median leaf region; **C**, holotype MP-Pb 3736, lanceolate leaf with enrolled lamina and a narrow furrow in the median leaf region and lateral veins clearly curving towards margins in the basal region; **D, E**, paratype MP-Pb 3099 (**D**) narrow oblong leaf with enrolled lamina and narrow furrow in the median leaf region, (**E**) detail of leaf, showing the continuity of marginal lamina running below the partial recovered upper surface of leaf, where the veins run in opposite direction of those at the upper surface (arrow). Scale bars = 1cm.

mediana ocupada por veias subparalelas e um estreito sulco que se estende ao longo da lâmina. Ela também se distingue de *G. angustifolia* pela folha simétrica e presença de sulco mediano. O material estudado ainda se compara à *G. stephensoni* Plumstead (Plumstead, 1962) por apresentar região mediana ocupada por um estreito sulco e, também, por sua folha simétrica. Entretanto, difere completamente no formato da folha, que varia de lanceolado a estreitamente oblongo, enquanto que na espécie indiana o limbo é redondo a oval. Além disso, nenhuma das espécies próximas, citadas acima, apresentou o limbo fortemente recurvado sobre si, característica diagnóstica marcante da forma aqui estudada.

*Gangamopteris buriadica* Feistmantel 1879  
(Figuras 4, 5)

**Material estudado.** Afloramento Morro do Papaléo: MP-Pb 889, 3998, 3999, 4000, 4001, 4002; Afloramento de Quitéria: MP-Pb 2355, 2356A, 2356C, 2891, 3060A, 3060B, 3213, 3275, 4003, 4004, 4005, 4006, 4007ab, 4008ab, 4009ab, 4010, 4011, 4012, 4013A, 4013B, 4015aA, 4015b, 4016ab, 4017, 4018, 4019, 4021, 4022, 4023ab, 4024, 4025, 4026, 4027, 4028, 4029, 4040ab, 4041ab, 4042, 4043, 4044; Afloramento Acampamento Velho: MP-Pb 3157.

**Material descrito.** Afloramento Morro do Papaléo: MP-Pb 889, 3998, 4000, 4001, 4002; Afloramento de Quitéria: MP-Pb 2356A, 2356C, 2891, 3060B, 3275, 4003, 4004, 4007ab, 4008ab, 4009ab, 4012, 4013A, 4014ab, 4015aA, 4018, 4019, 4022, 4023ab, 4040ab, 4041ab; Afloramento Acampamento Velho: MP-Pb 3157.

**Ocorrência.** Nível fossilífero 4 (= N4), no topo do Grupo Itararé, conforme Iannuzzi *et al.* (2003a, b); Fácies FS VI, horizontes c-d, no topo da Formação Rio Bonito, segundo Jasper *et al.* (2006).

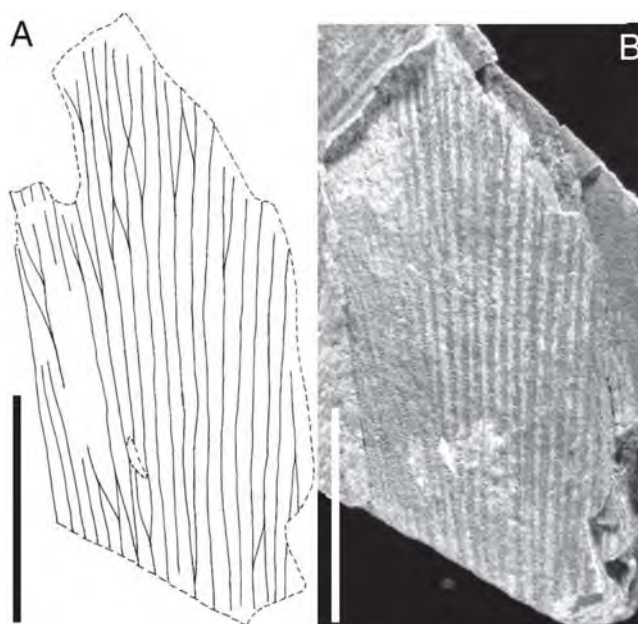
**Idade.** Permiano (Sakmariiano tardio - Artinskiano precoce).

**Descrição.** O material analisado é constituído por folhas simples, de margens inteiras, simétricas, variando de micrófilas a mesófilas, a maioria apenas com a porção mediana preservada, sendo que três espécimes apresentam o ápice (MP-Pb 889, 3157, 4008ab) e alguns a porção basal. O formato do limbo varia de estreitamente oblongo (MP-Pb 3060B, 4004, 4007ab, 4022, 4023ab, 4040ab) a estreitamente oblanceolado (MP-Pb 4041ab); os ápices variam de obtuso (MP-Pb 889), truncado arredondado (MP-Pb 3157) a agudo (MP-Pb 4008ab); a porção basal é estreita e vai afinando-se aos poucos (MP-Pb 4003, 4041ab), sendo que, no espécime MP-Pb 4041ab, esta porção apresenta-se, aparentemente, enrolada sobre si mesma; o comprimento das folhas varia de mais de 4,2 cm (MP-Pb 4001) a maior que 18,5 cm (MP-Pb 4004); a largura foliar apresenta desde valores superiores a 2,4 cm (MP-Pb 3998) até maiores que 4,6 cm (MP-Pb 4022). A região mediana é ocupada por veias paralelas e subparalelas que se iniciam na porção basal e seguem até o ápice da folha. As veias laterais são quase eretas, curvando-se levemente em direção às margens foliares em ângulos de 6° (MP-Pb 4004, 4007ab, 3157) a 10° (MP-Pb 4007ab, 4009ab), possuindo uma curvatura um pouco mais acentuada que varia de 12,5° (MP-Pb 2276) a

16° (MP-Pb 3157), nas porções mais inferiores do limbo. As veias bifurcam-se várias vezes, encontrando-se raras anastomoses ao longo de toda lâmina foliar, formadas a partir de conexões do tipo oblíquas, transversais e em “X”, que dão origem a retículos muito alongados e poligonais (Figura 4).

**Discussão.** Como os espécimes analisados apresentam anastomoses entre as veias, mesmo que por vezes raras, formando malhas ou retículos, e não apresentam uma nítida venação mediana, opta-se por classificá-los dentro do gênero *Gangamopteris* que abarca tais características.

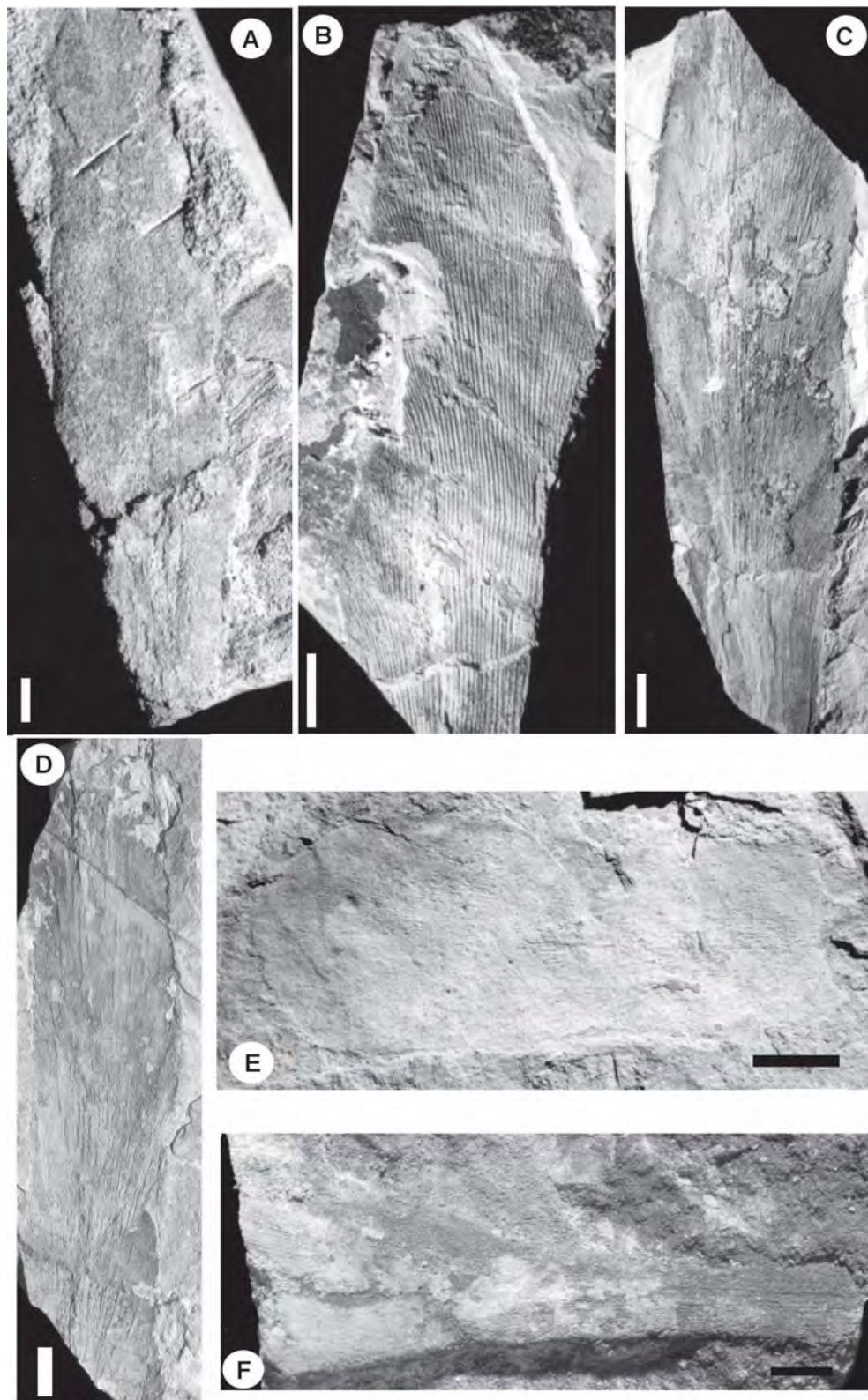
O material estudado compara-se a *Gangamopteris buriadica* Feistmantel (Feistmantel, 1879; Dolianiti, 1954a), *G. buriadica* var. *acrodeltoides* Dolianiti (Dolianiti, 1954b) e *G. mosesi* Dolianiti (Dolianiti, 1954b), quanto à região mediana, por ser ocupada por veias paralelas e subparalelas que iniciam-se na porção basal e seguem até o ápice da folha, e por apresentar veias laterais praticamente eretas. Contudo, difere de *G. buriadica* var. *acrodeltoides* e *G. mosesi*, pela forma do limbo oblanceolado a estreitamente oblonga e por seu ápice que varia de agudo, obtuso a truncado arredondado. Distingue-se ainda de *G. buriadica* var. *acrodeltoides* por apresentar folhas simétricas. Entretanto, demonstra estreita semelhança com *G. buriadica* devido à presença de ápice truncado arredondado, de uma porção basal estreita que vai se afinando aos poucos, de uma região mediana ocupada por veias paralelas e subparalelas e veias laterais quase eretas que se curvam ligeiramente em direção às margens foliares, de modo um pouco mais acentuado nas porções mais inferiores do limbo. Deste modo, inclui-se o material estudado na espécie *G. buriadica*, com a qual apresenta uma nítida identidade em nível específico.



**Figura 4.** *Gangamopteris buriadica* Feistmantel, espécime MP-Pb 4015b: **A**, desenho da venação; **B**, foto com detalhe do padrão da venação. Escalas = 1cm

**Figure 4.** *Gangamopteris buriadica* Feistmantel, specimen MP-Pb 4015b: **A**, drawing of the venation pattern; **B**, photo with detail of the venation pattern. Scale bars = 1cm





**Figura 5.** *Gangamopteris buriadica* Feistmantel: **A**, MP-Pb 4004, folha com apenas a região mediana preservada, com limbo estreitamente oblongo e veias laterais praticamente eretas; **B**, MP-Pb 4008a, folha com ápice agudo e veias laterais praticamente eretas; **C**, MP-Pb 4007a, e **D**, MP-Pb 4040a, folhas com apenas a região mediana preservada, mostrando formatos dos limbos estreitamente oblongos e as veias laterais praticamente eretas; **E**, MP-Pb 3157, folha de ápice truncado arredondado; **F**, MP-Pb 4041a, porção basal da folha estreita que aos poucos vai afinando-se, mostrando-se aparentemente enrolada. Escalas = 1cm.

**Figure 5.** *Gangamopteris buriadica* Feistmantel: **A**, MP-Pb 4004, median region of leaf with narrow oblong-shaped leaf and lateral veins quite erects; **B**, MP-Pb 4008a, leaf with acute apex and lateral veins quite erects; **C**, MP-Pb 4007a, and **D**, MP-Pb 4040a, median regions showing narrow oblong-shaped leaves and lateral veins quite erects; **E**, MP-Pb 3157, leaf with rounded truncate apex; **F**, MP-Pb 4041a, basal region of narrow leaf ending slightly towards base, showing the enroled lamina apparently. Scale bars = 1cm.

Cabe salientar que *G. buriadica* é um táxon considerado de classificação duvidosa por alguns autores, tais como, Arber (1905) e Maithy (1998). O último propõe a inclusão desta espécie no gênero *Karharbariphyllum*, uma forma semelhante a *Noeggerathiopsis*, porém com a presença de conexões entre as veias formando malhas semelhantes a *Gangamopteris*. Deste modo, Maithy (1998) erigiu *Karharbariphyllum* para designar folhas que possuem, segundo ele, características de ambos os gêneros, i.é *Noeggerathiopsis* e *Gangamopteris*, como no caso de *G. buriadica*. Neste trabalho, optou-se por continuar incluindo esta última espécie dentro do gênero *Gangamopteris*. A presença de veias subparalelas, eretas e que se dicotomizam não parece ser para os autores uma característica suficientemente diagnóstica para se propor um novo gênero, como proposto por Maithy (1998).

*Gangamopteris obovata* (Carr.) White 1908  
(Figuras 6, 7b-f)

*Gangamopteris* sp. Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980:65, est.2, fig.3.

*Rubidgea* sp. Guerra-Sommer *et al.*, 1980, est.1, fig.8.

*Rubidgea* sp. Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1980:137, est.2, fig.5.

*Rubidgea obovata* (*auct. non*) Maithy 1965a. Guerra-Sommer & Klippel, 1980:608,610, est.2, fig.2, fig. 1d.

*Rubidgea obovata* (*auct. non*) Maithy 1965a. Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993:65, pl.1, fig.1.

*Rubidgea* sp. Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000a:487, fig.2a,c.

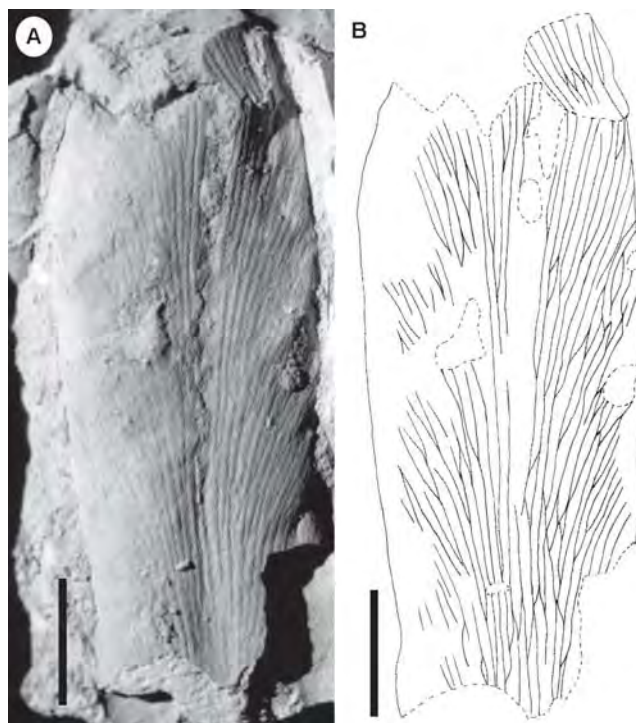
*Rubidgea obovata* (*auct. non*) Maithy 1965a. Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000b:69, fig.1e.

**Material descrito.** Afloramentos Morro do Papaléo: MP-Pb 2002, 2581, 3460A, 3460B, 3462, 3463, 3573ab, 3647, 4408, 4409; Acampamento Velho: MP-Pb 2281, 2287, 3155; Faxinal: MP-Pb 2318, 2319; Pedreira: MP-Pb 2248, 2249.

**Ocorrência.** Níveis fossilíferos 4 (= N4), no topo do Grupo Itararé, e 8 (= N8), na Formação Rio Bonito, conforme Iannuzzi *et al.* (2003a, b).

**Idade.** Permiano (Sakmariiano tardio - Artinskiano precoce).

**Descrição.** O material estudado representa folhas simples, de margens inteiras e suavemente onduladas na porção apical, simétricas, em geral com ápices foliares preservados e bases ausentes, de dimensões variando de nanófila a notófila. A forma do limbo é oblanceolada; o ápice é obtuso a levemente redondo (presente apenas no espécime MP-Pb 3573ab); o limbo vai estreitando-se em direção a região basal, o que sugere bases agudas a truncadas; o comprimento das folhas varia de mais de 2,5 cm (MP-Pb 2318) a maior que 6,8 cm (MP-Pb 3573ab); a largura foliar apresenta desde valores superiores a 1,4 cm (MP-Pb 2318, 3460A) até maiores que 3,8 cm (MP-Pb 3573ab). A região mediana é ocupada por veias subparalelas que se iniciam na porção basal, onde anastomoses são muito raras, e seguem até o ápice da folha, onde se apresentam mais difusas (Figura 6 a,b). Entretanto, os espécimes apresentam certa variação quanto à venação central, alguns possuem feixes centrais mais nítidos e proeminentes (MP-Pb

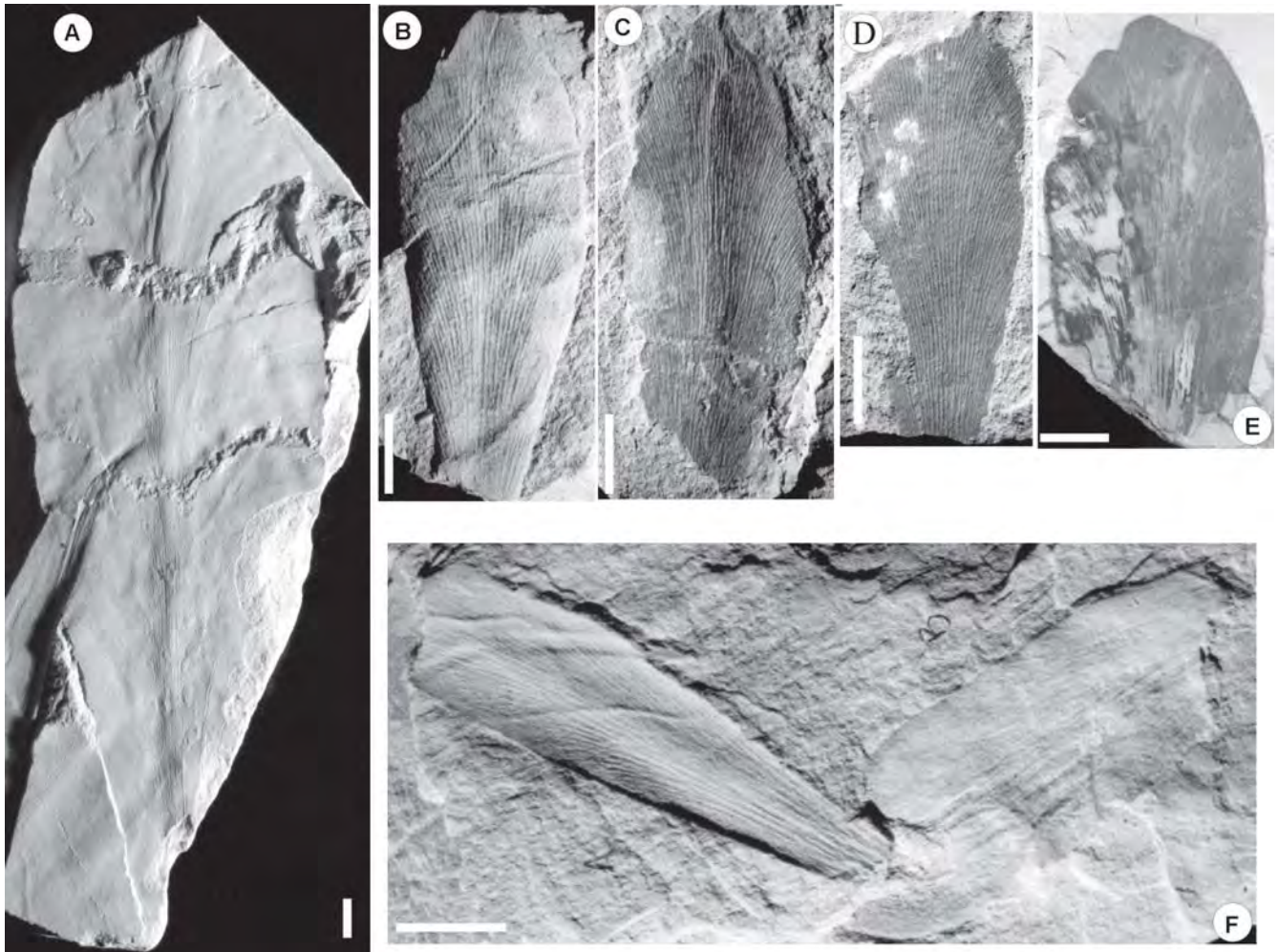


**Figura 6.** *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, MP-Pb 2002: foto (A) e desenho (B) mostrando o padrão da venação. Escalas = 1cm.  
**Figure 6.** *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, MP-Pb 2002: photo (A) and drawing (B) showing the venation pattern. Scale bars = 1cm.

2002, 2581, 3460A), outros apresentam uma venação central mais frouxa (MP-Pb 2249, 2287, 3573ab), e existem ainda aqueles que são intermediários a estas duas variações (MP-Pb 3463, 3647). As veias laterais bifurcam-se várias vezes, curvando-se muito suavemente para os bordos na porção basal da folha, onde apresentam um ângulo de curvatura que varia de 7° (MP-Pb 3460A, 3647) a 10° (MP-Pb 3155), e mais acentuadamente nas porções mediana e apical da folha, onde a variação do ângulo é de 13° (MP-Pb 2002, 3573ab) a 18° (MP-Pb 2002, 3463). As anastomoses formam-se a partir de conexões oblíquas e, mais raramente, através de conexões em forma de X, ocorrendo com maior frequência especialmente próximo aos bordos da folha, onde as nervuras encontram-se mais próximas. Embora em pouca quantidade, as anastomoses formam retículos poligonais e muito alongados (Figura 6).

**Discussão.** Ao se analisar os melhores espécimes classificados como *Rubidgea* por Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980), Guerra-Sommer *et al.* (1980), Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1981), Guerra-Sommer & Klippel (1985), Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (2000a) e Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (2000b), verificou-se que todos apresentavam anastomoses entre as veias, formando malhas, embora em alguns casos elas fossem raras. Deste modo, optou-se aqui por classificar esses espécimes em *Gangamopteris*, uma vez que este gênero suporta a presença de retículos constatada nos mesmos, como já discutido anteriormente (*Gangamopteris* versus *Rubidgea*).





**Figura 7.** *Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistmantel) Dolianiti: **A**, MP-Pb 3704, folha oblanceolada-espatulada, com região mediana ocupada por feixes centrais mais proeminentes na porção basal que se esvaecem em direção ao ápice. *G. obovata* (Carr.) White: **B**, MP-Pb 3647, folha mostrando com limbo oblanceolado, ápice obtuso, porção basal gradativamente estreita, região mediana ocupada por feixes centrais pouco nítidos e proeminentes, e veias laterais que se curvam mais acentuadamente nas porções mediana e apical da folha; **C**, MP-Pb 2581, limbo oblanceolado com suaves ondulações nas margens da porção apical, feixes centrais nítidos e proeminentes na região mediana; **D**, MP-Pb 2287, folha de margens suavemente onduladas na porção apical, com limbo oblanceolado, venação central frouxa; **E**, MP-Pb 3573a, folha apresentando ápice levemente redondo, com suaves ondulações nas margens e venação central frouxa; **F**, MP-Pb 3460a, b, limbo oblanceolado, feixes centrais nítidos e porção basal alongada gradativamente estreita. Scale bars = 1cm.

**Figure 7.** *Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistmantel) Dolianiti: **A**, MP-Pb 3704, oblanceolate-spatulate leaf, with salient mid-vein bundles, at basal region, evanescent towards apex. *G. obovata* (Carr.) White: **B**, MP-Pb 3647, oblanceolate leaf, with obtuse apex and narrow tapering base, mid-vein bundles not prominent, and lateral veins curving stronger at the median and apical leaf regions; **C**, MP-Pb 2581, oblanceolate-shaped leaf with undulate distal margins, salient mid-vein bundles at median leaf region; **D**, MP-Pb 2278, oblanceolate-shaped leaf with undulate distal margins and mid-vein bundles not prominent; **E**, MP-Pb 3573a, leaf with rounded apex and undulate distal margins, mid-vein bundles not prominent; **F**, MP-Pb 3460a, b oblanceolate-shaped leaves showing salient mid-vein bundles and narrow tapering base. Scale bars = 1cm.

Em nível específico, os espécimes estudados se comparam a *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel (Feistmantel, 1879; Surange & Lele, 1955; Maithy, 1965b) por apresentarem ápice obtuso a levemente redondo, e região mediana ocupada por veias subparalelas que se iniciam na porção basal e seguem até o ápice da folha, onde se encontram mais difusas. Contudo, diferem desta espécie, principalmente, por apresentarem limbo oblanceolado e margens levemente onduladas na região apical. O formato dos espécimes estudados lembra ainda os de *G. obovata* (Carr.) White (White, 1908; Millan, 1989, est. I, fig. 3), *G. clarkeana* Feistmantel, *G. intermedia* Maithy e *G. obliqua* McCoy (conforme Maithy, 1965b). No entanto, os espécimes

analisados assemelham-se mais diretamente a *G. obovata* por: a) seu formato oblanceolado; b) apresentarem ápice redondo a obtuso e limbo estreitando-se gradualmente em direção à região basal; c) possuírem veias laterais que se bifurcam várias vezes e curvam-se suavemente para os bordos, na porção basal da folha, e mais acentuadamente, nas porções mediana e apical da mesma; d) pela maior frequência de anastomoses junto aos bordos da folha, onde as nervuras encontram-se mais próximas, feição esta que os diferencia das demais espécies próximas. Tendo em vista que tais características são diagnósticas para a espécie *G. obovata*, justifica-se, portanto, a inclusão do presente material neste táxon.



*Gangamopteris o.* var. *major* (Feistmantel) Dolianiti 1954  
(Figuras 7 a; 8 a,b)

*Gangamopteris obovata* (auct. non) Maithy 1965b. Iannuzzi & Souza, 2005: 148, fig. 4a.

**Material descrito.** Afloramento Morro do Papaléo: MP-Pb 3479, 3703, 3704, 3714, 3724, 4406abA, 4406aB, 4407ab.

**Ocorrência.** Níveisossilíferos 7 (= N7) e 8 (= N8) na Formação Rio Bonito, conforme Iannuzzi *et al.* (2003a, b).

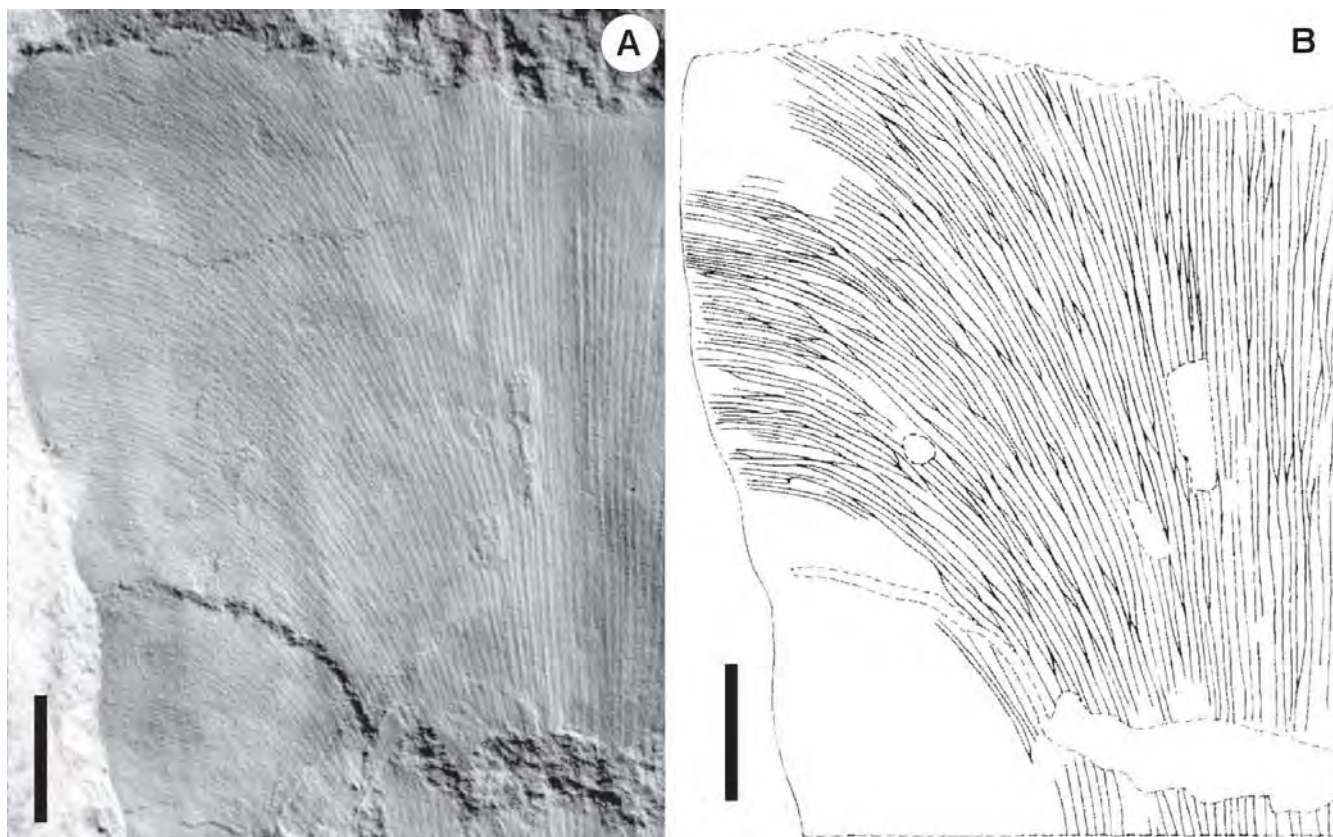
**Idade.** Permiano (Artinskiano precoce).

**Descrição.** Os espécimes estudados representam folhas simples, de margens inteiras, simétricas, mesófilas, uma praticamente inteira (MP-Pb 3704), outra com a região mediana e apical (MP-Pb 4406aB) e as demais somente com a região mediana preservada. A forma do limbo é oblanceolada a oblanceolada-espatulada (MP-Pb 3704); com ápice parcialmente preservado (MP-Pb 3704, 4406aB), variando de obtuso a agudo-arredondado; a região basal vai estreitando-se gradualmente a partir da porção mediana do limbo; o comprimento das folhas varia de mais de 13 cm (MP-Pb 4406abA) a maior que 25,5 cm (MP-Pb 3704), enquanto a largura foliar apresenta-se com valores superiores a 4 cm (MP-Pb 4406abA) e 8,8 cm (MP-Pb 3704). A região mediana é ocupada por veias centrais subparalelas que se encontram mais próximas e acentuadas na porção basal, onde se

assemelham a uma venação mediana, e seguem, esvanecendo-se, anastomosando-se e afinando gradativamente em direção a parte superior da folha, onde as anastomoses tornam-se raras. As veias laterais são sempre bem arqueadas, curvando-se em ângulos que variam de 22° (MP-Pb 3704) a 38° (MP-Pb 3704) e bifurcando e anastomosando-se, através de conexões oblíquas, transversais e em “X”, o que forma retículos alongados e retangulares; apresentam uma elevada densidade de venação próxima às margens foliares (Figura 8).

**Discussão.** Os espécimes analisados apresentam anastomoses entre as veias, formando malhas, e ausência de uma nítida venação mediana e, por tais características, classificados no gênero *Gangamopteris*.

Quanto à forma do limbo os espécimes estudados assemelham-se a *Gangamopteris major* Feistmantel (Feistmantel, 1879; Maithy, 1965b), *G. obovata* var. *major* (Feistmantel) Dolianiti (Dolianiti, 1954b) e *G. spathulata* McCoy (*in* Maithy, 1966; Rigby & Chandra, 1990). Diferem, no entanto, de *G. major* por apresentar veias laterais arqueadas, formando ângulos de 22° a 38°, e por suas dimensões maiores. Distinguem-se também de *G. spathulata* pela região mediana ocupada por veias centrais subparalelas que se encontram mais próximas e acentuadas na porção basal, e se esvaecem gradativamente em direção a parte superior da folha. Entretanto, demonstra



**Figura 8.** *Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistmantel) Dolianiti, MP-Pb 3704: foto (A) e desenho (B) mostrando o padrão da venação. Escalas = 1cm.

**Figure 8.** *Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistmantel) Dolianiti, MP-Pb 3704: photo (A) and drawing (B) showing the venation pattern. Scale bars = 1cm.

estreita semelhança com *G. obovata* var. *major* devido as suas dimensões, veias laterais arqueadas e região mediana ocupada por veias centrais subparalelas, que se encontram mais próximas e acentuadas na porção basal, e difusas e finas em direção a parte superior da folha. Sendo assim, os espécimes estudados correspondem a *G. obovata* var. *major*, com a qual guardam efetivamente uma identidade em nível específico.

## CONCLUSÕES

A reavaliação taxonômica dos espécimes anteriormente classificados em *Rubidgea*, provenientes de diversos afloramentos do Permiano Inferior da Bacia do Paraná no Estado do Rio Grande do Sul, concluiu que eles não correspondem à diagnose original do gênero, por apresentarem anastomoses ao longo da lâmina foliar, dispondo-se melhor em *Gangamopteris*. Assim, considera-se que o gênero *Rubidgea* está ausente dos depósitos permianos do Rio Grande do Sul.

A partir destas observações a presença de formas do morfogênero *Rubidgea* na Bacia do Paraná fica restrita ao registro feito por Millan & Dolianiti (1982) para os depósitos do topo do Grupo Itararé, em Cerquilho, São Paulo, de idade eopermiana precoce (Sakmariano?).

A presença de *Rubidgea* no Gondwana é igualmente rara, tendo sido noticiada apenas para o Permiano Inferior na Índia por Maithy (1965a). Existem alguns autores, inclusive, que não crêem na validade deste morfogênero (Arber, 1905; Seward, 1907; Kovács-Endrödy, 1977) creditando sua determinação a interpretações errôneas por parte daqueles que erigiram ou assinalaram sua ocorrência (i.é, Tate, 1867; Maithy, 1965a).

Pelo exposto, sugere-se uma reavaliação do material descrito por Millan & Dolianiti (1982). Isto poderá contribuir, de forma mais decisiva, para confirmar ou não *Rubidgea* como um morfotipo válido entre as folhas de glossopterídeas presentes no Gondwana.

Além da inclusão de todos os fósseis sul-riograndenses anteriormente classificados como *Rubidgea* em *Gangamopteris*, é aqui proposta uma separação dos espécimes deste último gênero em quatro morfoespécies, distribuídas em distintos níveis estratigráficos e localidades eopermianas do Rio Grande do Sul, uma delas inédita. *Gangamopteris revoluta* nov. sp. está presente nos afloramentos Morro do Papaléo (níveis fossilíferos 4 e 8), Acampamento Velho e Cambaí Grande, que expõem níveis correspondentes ao topo do Grupo Itararé até a porção médio-superior da Formação Rio Bonito, sugerindo um intervalo de que vai do Sakmariano tardio ao Artinskiano precoce para a ocorrência da nova espécie.

Registra-se também, pela primeira vez para o Rio Grande do Sul, a presença de *Gangamopteris obovata* var. *major* (Feistmantel) Dolianiti, para a porção médio-superior da Formação Rio Bonito, na seção do Afloramento Morro do Papaléo (níveis fossilíferos 7 e 8). Esta espécie foi originalmente erigida para os depósitos do Membro

Siderópolis, da Formação Rio Bonito, em Criciúma, Santa Catarina (Millan & Dolianiti, 1982), aos quais se restringia até então sua ocorrência. Este é o primeiro registro da presença de *G. obovata* var. *major* para uma localidade fora de sua área tipo, estendendo sua distribuição geográfica em direção ao sul da bacia, o que contribui para confirmar a validade desta espécie. Portanto, apóia-se uma idade artinskiana precoce para o registro de *G. obovata* var. *major* no Rio Grande do Sul.

Por fim, duas espécies de *Gangamopteris* já conhecidas anteriormente para o Permiano são assinaladas. *Gangamopteris buriadica* Feistmantel tem sua distribuição estratigráfica ampliada, antes restrita ao topo do Grupo Itararé, para a porção médio-superior da Formação Rio Bonito, devido a sua ocorrência, reportada aqui pela primeira vez, no topo do Afloramento de Quitéria. *Gangamopteris obovata* (Carr.) White, uma das espécies mais comumente assinalada para o gênero, é reconhecida como o único epíteto válido para vários espécimes anteriormente classificados em *Rubidgea* noticiados de forma preliminar para o topo do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul. Além disso, *G. obovata* tem sua amplitude estratigráfica estendida no estado até a porção médio-superior da Formação Rio Bonito, dada sua presença no topo do Afloramento Morro do Papaléo (nível fossilífero 8). Este fato por si só gera controvérsia, seja do ponto de vista botânico, com vistas à obtenção de uma classificação natural dos táxons fósseis, seja do ponto de vista de identificação taxonômica das folhas fósseis, dadas as distorções preservacionais impostas pelos processos tafonômicos, já observadas por outros autores. Por outro lado, uma saída lógica para este problema é considerar todos os morfotipos foliares como pertencentes a um único morfogênero, no caso *Glossopteris*, diferenciando-os apenas em nível específico, como já foi sugerido por alguns autores (veja Kovács-Endrödy, 1977).

A não concordância com esta visão fez com que aqui fosse adotada a clássica distinção dos morfotipos de folhas glossopterídeas em nível genérico, considerando como gêneros válidos os táxons *Gangamopteris* e *Glossopteris*, e recomendando cuidado na determinação dos gêneros de folhas de glossopterídeas dada a existência de distorções preservacionais que podem mascarar feições diagnósticas, tais como, presença ou não de anastomoses.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (130053/2005-8, PQ309322/2007-3), fundamental para a realização deste trabalho; à D. R. Boardman (PPGeo-UFRGS) pelas ilustrações; e a L. F. Lopes (UFRGS) pela produção do material fotográfico. Este trabalho é uma contribuição do Centro de Investigação do Gondwana aos projetos IGCP-471, CNPq (474153/2004-5, 483463/2007-8) e FAPERGS (PROAPP-04/1066.0). Os autores agradecem às sugestões dos revisores que muito contribuíram para o aprimoramento do trabalho.



## REFERÊNCIAS

- Arber, E.A.N. 1902. The Clarke collection of fossil plants from New South Wales. *Quarterly Journal of the Geological Society South Africa*, **58**:1-26.
- Arber, E.A.N. 1905. *Catalogue of the Fossil Plants of the Glossopteris Flora*. Department of Geology, British Museum, London, 295 p.
- Archangelsky, S. 1957. Las glossopterideas del Bajo de la Leona. *Revista de la Asociacion Geologica Argentina*, **12**(3):135-166.
- Ash, A.; Ellis, B.; Hickey, L.J.; Johnson, K.; Wilf, P. & Wing, S. 1999. *Manual of leaf architecture: morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms*. Washington, Leaf Architecture Working Group of Smithsonian Institution, 65 p. <<http://www.peabody.yale.edu/collections/pb/MLA.pdf>>
- Cazzulo-Klepzig, M.; Guerra-Sommer, M. & Bossi, E.G. 1980. Revisão fitoestratigráfica do grupo Itararé no Rio Grande do Sul. I. Acampamento Velho, Cambaí Grande, Budó e Morro do Papaléo. *Boletim do Instituto de Geociências*, **11**:55-75.
- Chandra, S. & Surange, K.R. 1979. *Revision of the Indian species of Glossopteris*. Lucknow, Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, 301 p.
- Dolianiti, E. 1954a. *Gangamopteris angustifolia e Gangamopteris buriadica na Formação Maricá do Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, p. 1-6 (Notas Preliminares e Estudos 87).
- Dolianiti, E. 1954b. *A flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina V – gênero Gangamopteris*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, p. 1-12 (Notas Preliminares e Estudos 89).
- Feistmantel, O. 1879. Fossil Flora of the Gondwana System. I.(suppl.) - The flora of the Talchir-Karharbari beds. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica series 12*, **3**:1-64.
- Guerra-Sommer, M. & Cazzulo-Klepzig, M. 1981. A tafoflora do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul: sua importância bioestratigráfica no Gondwana Sul-Brasileiro. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO PALEONTOLOGIA, 2, 1981. *Anais*, Porto Alegre, UFRGS, p. 127-140.
- Guerra-Sommer, M. & Cazzulo-Klepzig, M. 1993. Biostratigraphy of the Southern Brazilian Neopalaeozoic Gondwana Sequence: a preliminary palaeobotanical approach. In: INTERNATIONAL CONGRÈS DE LA STRATIGRAPHIE ET GÉOLOGIE DU CARBONIFÈRE ET PERMIEN, 12, 1991. *Comptes rendus*, Buenos Aires, v. 2, p. 61-72.
- Guerra-Sommer, M. & Cazzulo-Klepzig, M. 2000a. Early Permian palaeofloras from Southern Brazilian Gondwana: a palaeoclimatic approach. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(3): 486-490.
- Guerra-Sommer, M. & Cazzulo-Klepzig, M. 2000b. As floras Gondwânicas do Paleozóico Superior do Rio Grande do Sul. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (eds.) *Paleontologia do Rio Grande do Sul*, Centro de Investigações do Gondwana, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 67-84.
- Guerra-Sommer, M. & Klippel, L.R. 1985. *O gênero Glossopteris no Grupo Itararé do Rio Grande do Sul*. Brasília, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, p. 605-612 (Série Geologia 27).
- Guerra-Sommer, M.; Cazzulo-Klepzig, M. & Marques-Toigo, M. 1980. Revisão fitoestratigráfica do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul. III – Área de Faxinal, município de Guaíba, Rio Grande do Sul. *Boletim do Instituto de Geociências*, **11**:76-85.
- Iannuzzi, R. & Souza, P.A. 2005. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-date overview. *New Mexico Museum of Natural History & Science Bulletin*, **30**:144-149.
- Iannuzzi, R.; Marques-Toigo, M.; Scherer, C.M.S.; Caravaca, G.; Vieira, C.E.L. & Pereira, L.S. 2003a. Reavaliação da fitobioestratigrafia da seqüência gondwânica sul-riograndense: estudo de caso do afloramento Morro do Papaléo (Bacia do Paraná, Permiano Inferior). In: ENCONTRO SOBRE ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDOS E BACIAS, 1, 2003. *Anais*, Porto Alegre, UFRGS, p. 182-185.
- Iannuzzi, R.; Marques-Toigo, M.; Scherer, C.M.S.; Caravaca, G.; Vieira, C.E.L. & Pereira, L.S. 2003b. Phytobiostratigraphical reevaluation of the southern Brazilian Gondwana sequence (Paraná Basin, Lower Permian): In: INTERNATIONAL CONGRESS ON CARBONIFEROUS AND PERMIAN STRATIGRAPHY, 15, 2003. *Abstracts*, Utrecht, p. 240-242.
- Iannuzzi, R.; Scherer, C.M.S.; Souza, P.A., Holz, M.; Caravaca, G.; Adami-Rodrigues, K.; Tybusch, G.P.; Souza, J.M.; Smaniotto, L.P.; Fischer, T.V.; Silveira, A.S.; Lykawka, R.; Boardman, D.R. & Barboza, E.G. 2006. Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná. In: C. Schobbenhaus et al. (eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Volume II*. <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio101/sitio101.pdf>>
- Jasper, A. 2004. *O modelo deposicional do afloramento Quitéria e a evolução dos biomas úmidos no Permiano Inferior do sul da Bacia do Paraná*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 248 p.
- Jasper, A.; Menegat, R.; Guerra-Sommer, M.; Cazzulo-Klepzig, M. & Souza, P.A. 2006. Depositional cyclicity and paleoecological variability in an outcrop of Rio Bonito formation, Early Permian, Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **21**:276-293.
- Kovács-Endrödy, E. 1977. The taxonomic status of the genus *Rubidgea*. *Bothalia*, **2**(12):313-317.
- Maithy, P.K. 1965a. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 17. On the genus *Rubidgea* Tate. *The Palaeobotanist*, **13**(1):42-43.
- Maithy, P.K. 1965b. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 26. Glossopteridales from the Karharbari beds, Giridih coalfield, India. *The Palaeobotanist*, **13**(1):248-263.
- Maithy, P.K. 1966. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 32. On the genus *Gangamopteris* McCoy. *The Palaeobotanist*, **14**(1-3):46-51.
- Maithy, P.K. 1998. Morphotaxonomic re-evaluation of *Gangamopteris(?) buriadica* Feistmantel. *Journal of the Palaeontological Society of India*, **43**:85-88.
- McCoy, F. 1847. On the fossil botany and zoology of the rocks associated with the coal of Australia. *The Annals and Magazine of Natural History*, **20**(132):145-157.
- Millan, J.H. & Dolianiti, E. 1982. Sobre a presença do gênero *Rubidgea* no Eogondwana de Cerquillo, Subgrupo Itararé de São Paulo. *Boletim do Instituto de Geociências*, **13**:43-134.
- Millan, J.H. 1989. Sobre a presença de formas foliares mais primitivas de glossopterídeas (gênero *Gangamopteris* no Município de Cerquillo, carvão do Eogondwana do Estado de São Paulo). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **61**(2):201-213.
- Plumstead, E. P. 1962. Fossil floras of Antarctica. *Trans-Antartic*

- Expedition, Scientific Reports*, **9**:7-153.
- Piccoli, A.E.M.; Menegat, R.; Guerra-Sommer, M.; Marques-Toigo, M.E. & Porcher, C.C. 1991. Faciologia da seqüência sedimentar nas folhas de Quitéria e Várzea do Capivarita, Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, **18**(1):31-43.
- Ricardi-Branco, F. & Bernardes de Oliveira, M.E.C. 2000. *Gangamopteris roesleri* sp. nov., da taoflora Eopermiana de Cerquilho (SP), Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, **5** (n. esp.):44-48.
- Rigby, J.F. & Chandra, S. 1990. Revision of the Permian Gondwana flora from Bacchus Marsh, Victoria: In: IOP CONFERENCE, **3**, 1990. *Proceedings*, Melbourne, p. 107-113.
- Rohn, R. & Babinski, M.E.C.B. & Rösler, O. 1984. *Glossopteris* da Formação Rio do Rasto no sul do estado do Paraná: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **33**, 1984. *Anais*, Rio de Janeiro, p. 1047-1061.
- Rohn, R.; Longhim, M.E.; Bernardes-de-Oliveira, M.E. & Navarro, G.R.B. 2000. Nova ocorrência fitofossilífera Neocarbonífera-Eopermiana do Subgrupo Itararé, à margem esquerda do Rio Capivari, município de Tietê, SP, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, **5**(n. esp.):57-61.
- Seward, A.C. 1907. Permo-Carboniferous plants from Kashmir. *Record Geological Survey of India*, **36**:481-487.
- Seward, A.C. 1908. Fossil Flora of Cape Colony. *Annals South Afrika Museum*, **4**:83-90.
- Seward, A.C. 1910. *Fossil Plants*. Cambridge, Cambridge University Press, v. 2, 608 p.
- Srivastava, A.K. 1991. Evolutionary tendency in the venation pattern of Glossopteridales. *Geobios*, **4**(24):383-386.
- Stewart, W.N. & Rothwell, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. Cambridge, Cambridge University Press. 521 p.
- Surange, K.R. & Lele, K.M. 1955. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 3. Plant fossils from the Talchir Needle Shales from Giridih coalfield. *The Palaeobotanist*, **4**:153-157.
- Surange, K.R. & Srivastava, P.N. 1956. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 5. Generic status of *Glossopteris*, *Gangamopteris* and *Palaeovittaria*. *The Palaeobotanist*, **5**(1):46-49.
- Tate, R. 1867. On some secondary fossils from South Afrika. *The Quarterly Journal of the Geological Society of London*, **23**:139-174.
- Vieira, C.E.L. & Iannuzzi, R. 2000. Presença de *Pecopteris* e *Asterotheca* no Afloramento Morro do Papaléo, município de Mariana Pimentel, RS (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná). *Pesquisas*, **27**(2):49-64.
- Walkom, A.B. 1922. Paleozoic floras of Queensland. Part I. The flora of the Lower and Upper Bowen series. *Queensland Geological Survey*, **270**:1-64.
- White, D. 1908. Fossil Flora of the Coal Measures of Brazil. In: I.C. White (ed.), Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil, Relatório

Received in May, 2008; accepted in July, 2008.

## Capítulo 2

“Nova espécie do gênero *Gangamopteris* no Permiano Inferior da Bacia do Paraná, rs, Brasil”. Graciela Pereira TYBUSCH, Roberto IANNUZZI, Heinrich Theodor FRANK. *São Paulo, UNESP, Geociências, v. 28, n. 3, p. 295-303, 2009.*

# NOVA ESPÉCIE DO GÊNERO *GANGAMOPTERIS* NO PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ, RS, BRASIL

Graciela Pereira TYBUSCH <sup>1</sup>, Roberto IANNUZZI <sup>1</sup>, Heinrich Theodor FRANK <sup>2</sup>

(1) Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500.

CEP 91509-900. Porto Alegre, RS. Endereços eletrônicos: gracielatybusch@yahoo.com.br; roberto.iannuzzi@ufrgs.br

(2) Departamento de Mineralogia e Petrologia Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500.

CEP 91509-900. Porto Alegre, RS. Endereço eletrônico: henrich.frank@ufrgs.br

Introdução  
Geologia  
Material e Métodos  
Sistemática Paleontológica  
Considerações Finais  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – O presente trabalho apresenta uma nova espécie referente ao morfogênero *Gangamopteris*, nominada *G. sulriograndensis* nov. sp., identificada na localidade do Cerro do Chapéu, situada ao sul da cidade de Cachoeira do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, região sul do Brasil. As amostras contendo restos de plantas foram coletadas na porção mais superior do Grupo Itararé, considerada de idade eopermiana (Sakmariano tardio), que se assenta discordantemente sobre os gnaisses tonalíticos do Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos (Paleoproterozóico), nesta localidade fossilífera inédita. Os espécimes aqui analisados, preservados sob forma de impressões, substanciam a nova espécie.

**Palavras-chave:** *Gangamopteris sulriograndensis* nov. sp., Bacia do Paraná, Eopermiano, Rio Grande do Sul, sul do Brasil.

**ABSTRACT** – G.P. Tybusch, R. Iannuzzi, H.T. Frank - New species of the genus *gangamopteris* in the lower permian of the Paraná basin, RS, Brazil. This contribution present a new species related to the genus *Gangamopteris*, designated as *G. sulriograndensis* nov. sp., from Cerro do Chapéu locality, south of Cachoeira do Sul Municipality, Rio Grande do Sul State, southern Brazil. The plant-bearing samples are from the uppermost part of the Itararé Group, considered Early Permian in age (late Sakmarian), which overlies in angular unconformity with tonalitic gneisses of the Paleoproterozoic Arroio dos Ratos Gneissic Complex in this unpublished locality. The specimens analyzed, preserved as impressions, substantiating the new species.

**Keywords:** *Gangamopteris sulriograndensis* nov. sp., Paraná Basin, Early Permian, Rio Grande do Sul State, southern Brazil.

## INTRODUÇÃO

O gênero *Gangamopteris* foi originalmente descrito por McCoy (1847), primeiramente como *Cyclopteris angustifolia*, uma folha mostrando um padrão de venação típica de *Glossopteris*, mas sem venação mediana nítida. Posteriormente, após McCoy (1860) ter examinado um grande número de espécimes coletados no Bacchus-Marsh Sandstone, em Victoria, Austrália, chegou à conclusão de que as anastomoses das veias e a ausência de venação mediana eram características constantes naquelas folhas de glossopterídeas e, por esta razão, ele propôs o novo nome genérico *Gangamopteris* para este tipo foliar (Maithy, 1966).

Carruthers (1869, segundo Dolianiti, 1954b), determinou como *Noeggerathia obovata* um espécime da região de Candiota, no Rio Grande do Sul, o qual foi considerado mais tarde por Zeiller (1895,

segundo Dolianiti, 1954b) como *Euriphyllum wittianum*. Este espécime foi, posteriormente, reconhecido por Arber (1905) e Seward (1908) como idêntico a *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel, tornando-se o primeiro registro do gênero *Gangamopteris* no Brasil. No entanto, White em 1908, ao estudar a flora fóssil associada aos carvões brasileiros, comentou de modo conclusivo que havia a prioridade do nome específico “*obovata*” sobre o epíteto “*cyclopteroides*” da Índia. Lundquist (1919, segundo Dolianiti, 1954b) aceitou a proposição de White e considerou *G. cyclopteroides* Feistmantel como sinônimo de *G. obovata* (Carr.) White.

Após estes registros pioneiros, feitos por paleobotânicos estrangeiros, passaram-se mais de três décadas até que novas formas de *Gangamopteris* fossem identificadas em depósitos paleozóicos no país.

Na década de 50, Dolianiti (1954a) descreveu *Gangamopteris angustifolia* McCoy e *G. buriadica* Feistmantel, coletadas em afloramentos da Formação Marica (atual Grupo Itararé), na localidade de Acampamento Velho, Rio Grande do Sul, representando, na época, um significativo enriquecimento para o conhecimento da “Flora *Glossopteris*” brasileira. No mesmo ano, dando continuidade a uma série de pesquisas realizadas com vegetais fósseis da localidade de Bainha, no município de Criciúma, Santa Catarina, Dolianiti (1954b) descreveu mais duas variedades, uma já conhecida, *Gangamopteris obovata* var. *major* Feistmantel, e outra nova, *Gangamopteris buriadica* McCoy var. *acrodeltoidis* nov. var., além de uma espécie nova, *Gangamopteris mosesi* nov. sp.

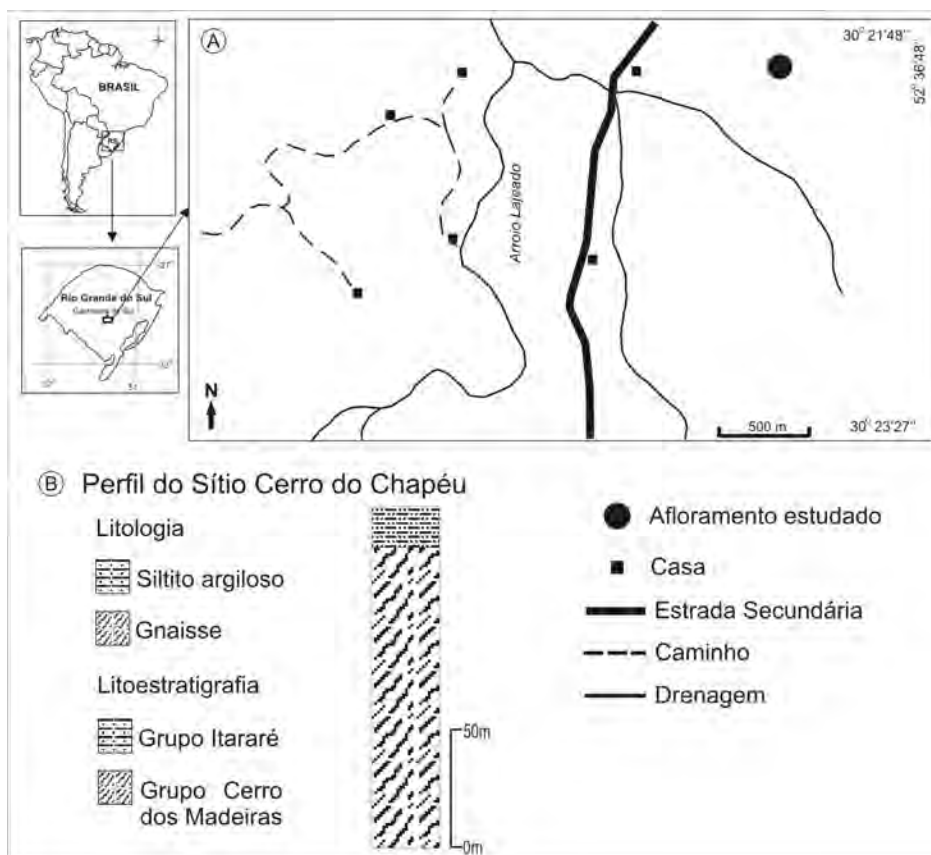
Posteriormente, no trabalho de Millan (1989) foram identificadas quatro espécies do gênero *Gangamopteris* na taoflora do Sítio Itapema, em Cerquilho, São Paulo, em depósitos posicionados estratigraficamente na parte superior do Grupo Itararé, a saber: *G. obovata*, *G. angustifolia* McCoy, *G. stephensonii* Plumstead e uma espécie nova, *G. dolianitii* nov. sp. Recentemente, Ricardi-Branco & Bernardes de Oliveira (2000) acrescentaram para tal taoflora a espécie *Gangamopteris roesleri* sp. nov.

Com base neste histórico, o principal objetivo deste trabalho é a descrição e classificação de uma nova forma foliar atribuída ao gênero *Gangamopteris*, encontrada em uma localidade fossilífera inédita, situada no Estado do Rio Grande do Sul.

## GEOLOGIA

O afloramento situa-se na localidade do Cerro do Chapéu, que fica ao sul da cidade de Cachoeira do Sul, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). O material analisado foi coletado nas porções mais superiores do Grupo Itararé, consideradas de idade

eopermiana (Sakmariano tardio), que assentam discordantemente sobre os gnaisses tonalíticos do Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos, de idade Paleoproterozóico (2,26-2,0 Ga), nesta localidade (Hartmann et al., 1999, 2000; Chemale Jr., 2000). Este sítio foi abrangido no



**FIGURA 1.** A. Mapa de localização da localidade do Cerro do Chapéu, em Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul; B. Perfil estratigráfico simplificado da seção aflorante na localidade do Cerro do Chapéu.



trabalho de conclusão de curso de um dos autores (Kuhn & Frank, 1983) e é aqui formalmente apresentado pela primeira vez.

O perfil simplificado da exposição no Cerro do Chapéu que contém os fósseis vegetais, relativo à seção aflorante do Gnaiss do Grupo Cerro madeiras e do Grupo Itararé, é apresentado na Figura 1. Segundo Kuhn & Frank (1983), os depósitos do Grupo Itararé ocorrem regionalmente como restos de uma “Bacia Residual” que capeiam em discordância angular os gnaisses subjacentes, sendo constituídos de conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos finos a

grossos, siltitos e argilitos. Os megafósseis vegetais ocorrem, conforme os autores, em siltitos finos, brancos a cinza claro, formados de camadas de até 10 cm de espessura e apresentando laminação plano-paralela incipiente, que ocorrem intercalados aos arenitos e são compostos por quartzo e argilominerais, principalmente caulinita (Kuhn & Frank, 1983). Esses siltitos são interpretados como tendo sido gerados em um ambiente lacustre. Além do material aqui estudado, denominado e ilustrado como folhas de *Rubidgea* e *Gangamopteris*, Kuhn & Frank (1983) mencionam também a ocorrência de caules de *Paracalamites* sp. associados.

## MATERIAL E MÉTODOS

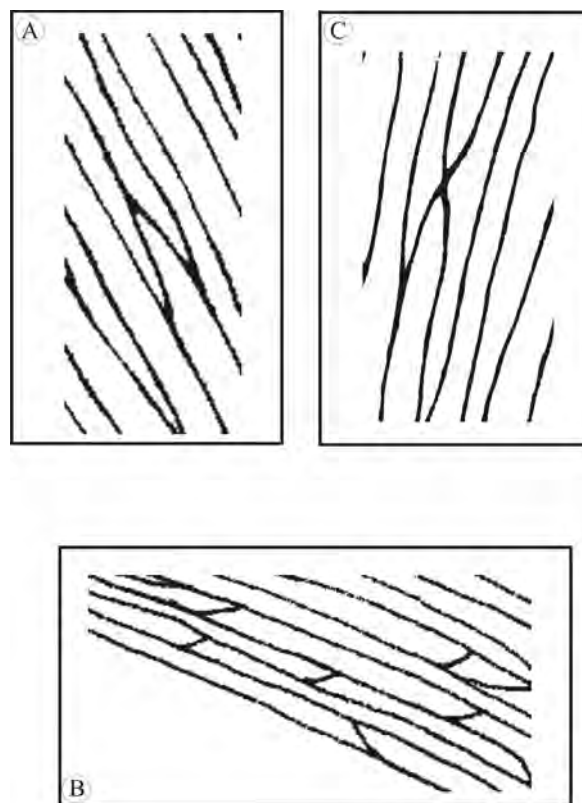
Os espécimes aqui referidos encontram-se preservados apenas sob forma de impressões. Portanto, o estudo do material realizou-se conforme o método padrão utilizado em Paleobotânica para análise de impressões/compressões (observação em lupa binocular, medições com paquímetro e régua, ilustrações elaboradas com auxílio de material fotográfico e câmara clara).

Para realizar a descrição e comparação dos espécimes, características morfológicas, tais como forma do limbo e tipos de ápice e de base foliar, foram definidas de acordo com a classificação adotada por Chandra & Surange (1979). Para obtenção das características referentes à densidade de venação e aos ângulos de emergência e divergência da venação secundária, foram utilizados os parâmetros e as técnicas descritas por Rohn et al. (1984). Por último, a fim de elucidar os tipos de anastomoses existentes na venação dos espécimes estudados, levaram-se em consideração as três categorias de anastomoses recentemente definidas por Tybusch & Iannuzzi (2008), a saber: a) conexões oblíquas, b) conexões transversais (*cross-connections*), c) conexões em “X” (Figura 2). Segundo Tybusch & Iannuzzi (2008), as conexões oblíquas (Figura 2A) são aquelas originadas pela fusão de dois ramos dicotômicos que emergem segundo ângulos agudos de veias secundárias paralelas, dando origem a uma nova veia paralela; as conexões transversais (Figura 2B) são as originadas de veias transversais (subparalelas às veias medianas ou feixe central, ou em ângulos quase reto) que conectam duas veias secundárias paralelas, sem modificar o seu curso; as conexões em “X” (Figura 2C) representam um encontro ou cruzamento de veias secundárias vizinhas, dispostas paralelamente no restante do curso.

O material paleobotânico analisado encontra-se depositado no Museu de Paleontologia (MP) do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia (DPE)

do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), tendo sido catalogado sob a sigla MP-Pb.

A sistemática supra-genérica utilizada neste trabalho segue a estabelecida por Stewart & Rothwell (1993).



**FIGURA 2.** Tipos de anastomoses em folhas de glossopterídeas, conforme definidas por Tybusch & Iannuzzi (2008): **A.** conexão oblíqua; **B.** conexão transversal; **C.** conexão em “X” (reproduzido de Tybusch & Iannuzzi, 2008).



## SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA

Divisão: TRACHEOPHYTA

Classe: GYMNOSPERMOPSIDA

Ordem: GLOSSOPTERIDALES

Gênero: *Gangamopteris* McCoy, 1847

Espécie-Tipo: *Cyclopteris angustifolia* McCoy, 1847 (*G. angustifolia* McCoy, 1875)

*Gangamopteris sulriograndensis* nov. sp.

**Holótipo:** MP-Pb 2760B.

**Parátipos:** MP-Pb 2760A, 2760C.

**Localidade-tipo:** Cerro do Chapéu, município de Cachoeira do Sul, estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

**Type-Locality:** Cerro do Chapéu, in the Cachoeira do Sul Municipality, Rio Grande do Sul State, southern Brasil.

**Ocorrência:** Porção mais superior do Grupo Itararé.

**Occurrence:** Uppermost part of the Itararé Group.

**Idade:** Eopermiana (Sakmario tardio).

**Age:** Early Permian (late Sakmario).

**Etimologia:** Nome alusivo ao estado do Rio Grande do Sul, de onde a nova espécie é proveniente.

**Etymology:** Name referring to the Rio Grande do Sul State, where the new species is assigned.

**Diagnose:** “Folhas simples, simétricas, com forma do limbo estreitamente elíptica e margens inteiras; ápices e bases agudos. Região mediana do limbo ocupada por veias subparalelas desde a porção basal até o ápice da folha, formando retículos poligonais alongados. Veias laterais bifurcam-se várias vezes, curvando-se rumo às margens segundo ângulos muito agudos de 7° a 9°, próximas à região mediana, e em ângulos ligeiramente maiores, de 14° a 16°, quando próximas às margens foliares. As anastomoses são formadas por conexões oblíquas e em “X”, dando origem a retículos poligonais alongados, e ocorrem com grande frequência na região média da folha”.

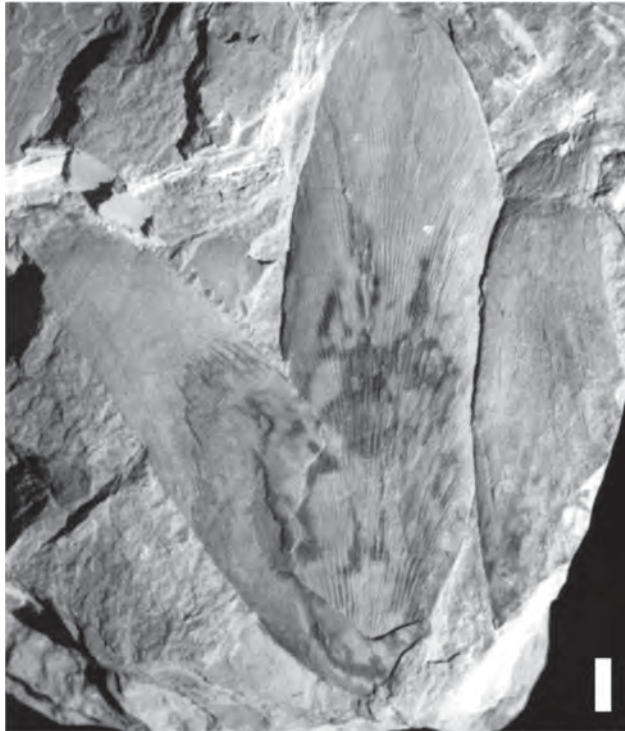
**Diagnosis:** “Simple and symmetrical leaves, with a narrowly elliptic lamina and entire margins, acute apex and bases. Middle region of lamina occupied by subparallel veins from the basal to the apex of the leaf, which interconnecting each other forming elongated polygonal meshes. Lateral veins fork several times, leaning towards the leaf margins at very acute angles of 7 to 9°, near the middle region, and at slightly larger angles of 14 to 16°, when close to the leaf margins. The anastomoses are formed by oblique and X-type connections, giving rise to polygonal elongated meshes and occurring with high frequency at the middle region of the leaf.”

**Descrição:** Os espécimes analisados encontram-se preservados em uma única amostra, sobrepostos uns

sobre os outros, e constituem três folhas simples, simétricas, com margens inteiras, dimensões médias, sendo uma inteira (MP-Pb 2760B), outra sem parte do ápice (MP-Pb 2760A) e uma terceira na qual a região apical está faltando totalmente (MP-Pb 2760C) (Figura 3). A forma do limbo é estreitamente elíptica; os ápices e as bases são agudos e de contornos arredondados; o comprimento da folha atinge valores superiores a 11,9 cm, como observado no espécime MP-Pb 2760B que se encontra praticamente completo, enquanto a largura foliar varia entre 3 (MP-Pb 2760C) e 4 cm (MP-Pb 2760B). A região mediana é ocupada por veias subparalelas que se iniciam na porção basal e seguem até o ápice da folha, formando retículos alongados e de forma poligonal. As veias laterais bifurcam-se várias vezes, curvando-se em ângulos agudos, quando próximas à região mediana, variando de 7° (MP-Pb 2760A) a 9° (MP-Pb 2760B), e em ângulos um pouco maiores, 14° (MP-Pb 2760B) a 16° (MP-Pb 2760C), se próximas às margens foliares. As anastomoses, surgidas a partir de conexões oblíquas e em “X”, ocorrem com grande frequência na região mediana e, especialmente, próxima aos bordos da folha, onde as veias se encontram mais próximas, formando retículos poligonais alongados (Figura 4).

**Discussão:** A classificação das folhas de glossopterídeas, especialmente quando se tratam apenas de impressões, é cercada de uma série de aspectos que dificultam sua precisa inserção taxonômica. Diversos autores já expressaram dúvidas sobre a viabilidade de sua classificação quando frutificações ou cutículas estão ausentes (Arber, 1902; Arber, 1905; Seward, 1907; Seward, 1910; Walkom, 1922; Surange & Srivastava, 1956; Maithy, 1966; Kovács-Endrödy, 1977; Chandra & Surange, 1979). Quando se têm apenas impressões de folhas, a identificação de cada morfôgênero de glossopterídea é baseada nas características do padrão de venação (diferenciação ou não da venação mediana e tipo de venação secundária – com ou sem formação de anastomoses). Forma e tamanho foliar são feições que têm sido relevantes apenas para diferenciar as morfoespécies que apresentam um padrão de venação muito semelhante entre si.

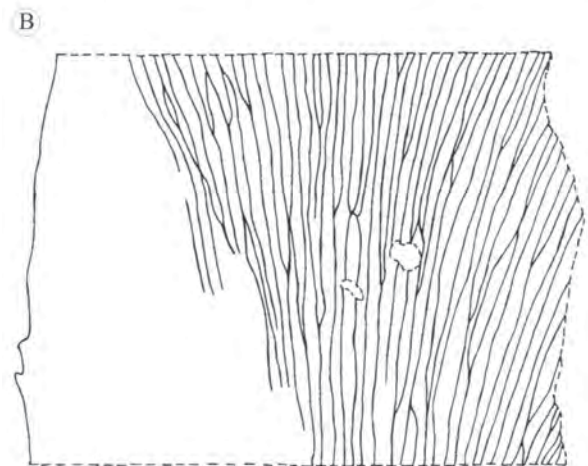
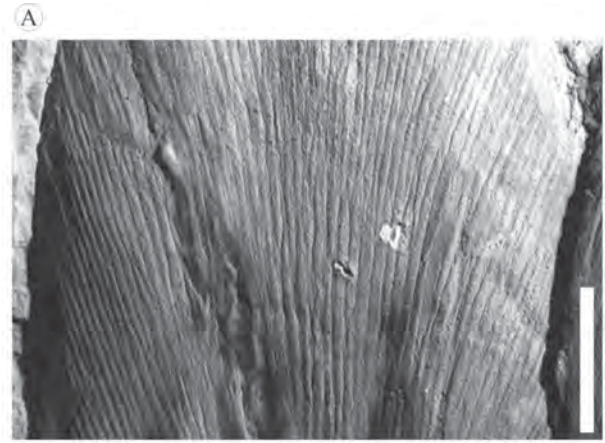
Uma vez que os espécimes analisados apresentam anastomoses entre as veias, mesmo que por vezes



**FIGURA 3.** *Gangamopteris sulriograndensis* sp. nov., material tipo onde se verifica que as folhas são simples, simétricas, estreitamente elípticas, com margens inteiras, ápices e bases agudos: parátipo MP-Pb 2760A (à esquerda), holótipo MP-Pb 2760B (centro) e parátipo MP-Pb 2760C (à direita). Escala = 1 cm.

raras, formando malhas, e ausência de uma ou mais veias medianas proeminentes, optou-se por classificá-los dentro do morfogênero *Gangamopteris*. O caráter indiferenciado da venação mediana não coaduna com a diagnose de *Glossopteris*, conforme os critérios aceitos por diversos autores (Feistmantel, 1879; Archangelsky, 1957; Plumstead, 1962; Maithy, 1966; Chandra & Surange, 1979; Rigby & Chandra, 1990).

Em nível específico, dentre as espécies de *Gangamopteris* descritas na literatura para o Gondwana, os espécimes estudados assemelham-se, quanto à forma do ápice e a simetria da lâmina foliar, aos classificados em *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel (Feistmantel, 1879; Maithy, 1965) e *G. obovata* (Carr.) White (White, 1908). Porém, eles diferem de *G. cyclopteroides* quanto à forma elíptica do limbo, quanto à ausência de uma venação mediana, mesmo que incipiente, na região médio-basal da folha e por apresentar retículos poligonais bastante alongados na região média da folha. Diferem ainda de *G. obovata*



**FIGURA 4.** *Gangamopteris sulriograndensis* sp. nov., espécime MP-Pb 2760B: A) foto em detalhe mostrando o padrão de venação; B) desenho mostrando o padrão da venação. Escalas = 1 cm.

quanto ao maior tamanho da folha, ao formato elíptico do limbo e por apresentarem a região mediana da folha ocupada por veias subparalelas, que formam retículos poligonais alongados.

Os espécimes analisados também se assemelham aos identificados como *G. mucronata* Maithy (Maithy, 1965) pela forma elíptica do limbo, distinguindo-se destes, entretanto, pelo ápice arredondado e pela região mediana ocupada por veias subparalelas e retículos poligonais alongados.

Uma vez que os espécimes aqui estudados apresentam características distintas de qualquer outra espécie de *Gangamopteris* conhecida, opta-se pela proposição do novo táxon, denominado aqui como *Gangamopteris sulriograndensis* sp. nov. Apesar do número amostral baixo, o excelente estado de preservação dos espécimes examinados permitiu reconhecer características morfológicas suficientemente diagnósticas para distingui-los das demais espécies já descritas.

**QUADRO 1.** Distribuições estratigráficas atualizadas dos principais táxons vegetais presentes ao longo das zonas descritas para o fitozoneamento proposto originalmente por Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) para estado do Rio Grande do Sul, já incluindo a espécie aqui descrita, *Gangamopteris sulriograndensis* sp. nov. (marcada com asterisco). Modificado de Iannuzzi et al. (2007).

GEOCRONOLOGIA	EOPERMIANO SAKMARIANO / ARTINSKIANO		
	SUBGRUPO ITARARÉ		GRUPO GUATÁ FM. RIO BONITO
LITOESTRATIGRAFIA	ZONA <i>BOTRYCHIOPSIS PLANTIANA</i>		ZONA <i>GLOSSOPTERIS</i> / <i>RHODEOPTERIDIUM</i>
	SUBZONA <i>GANGAMOPTERIS</i> <i>OBOVATA</i>	SUBZONA <i>PHYLLOTHECA</i> <i>INDICA</i>	
BIOESTRATIGRAFIA			
<i>Cornucarpus patagonicus</i>			
<i>Gangamopteris obovata</i>			
<i>Botrychiopsis plantiana</i>			
<i>Chiropteris</i> sp.			
<i>Gangamopteris angustifolia</i>			
<i>Gangamopteris buriadica</i>			
<i>Glossopteris indica</i>			
<i>Glossopteris communis</i>			
<i>Cordaites hislopi</i>			
<i>Buriadia isophylla</i>			
<i>Samaropsis seixasi</i>			
<i>Cordaicarpus</i> sp.			
* <i>Gangamopteris sulriograndensis</i>			
<i>Stephanophyllites</i> sp.			
<i>Cheirophyllum specularé</i>			
<i>Dicranophyllum</i> sp.			
<i>Samaropsis kurtzii</i>			
<i>Samaropsis</i> cf. <i>S. rigbyi</i>			
<i>Phyllothea indica</i>			
<i>Kawizophyllum</i> sp.			
<i>Glossopteris occidentalis</i>			
<i>Scutum</i> sp.			
<i>Rhodeopteridium</i> sp.			
<i>Sphenopteris</i> sp.			
<i>Pecopteris</i> sp.			
<i>Neomariopteris</i> sp.			
<i>Asterotheca</i> sp.			
<i>Brasilodendron pedroanum</i>			
<i>Cyclodendron</i> sp.			
<i>Ginkgophytopsis</i> sp.			
<i>Botrychiopsis valida</i>			
<i>Glossopteris mosesii</i>			
<i>Glossopteris browniana</i>			
<i>G. obovata</i> var. <i>major</i>			
<i>Plumsteadia sennes</i>			
<i>Arberia minasica</i>			
<i>Otokaria</i> sp.			
<i>Coricladus quiteriensis</i>			
<i>Samaropsis</i> aff. <i>S. millaniana</i>			



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Registraram-se aqui, pela primeira vez, megafósseis vegetais no afloramento situado na localidade do Cerro do Chapéu, estado do Rio Grande do Sul, em depósitos pertencentes às porções superiores do Grupo Itararé.

As impressões foliares estudadas se enquadraram em *Gangamopteris* pela ausência de uma venação mediana diferenciada e por apresentarem anastomoses ao longo de toda a lâmina. Tendo em vista que estas impressões foliares apresentam características distintas de qualquer outra espécie de *Gangamopteris* já descrita, optou-se por erigir a espécie nova *Gangamopteris sulriograndensis* sp. nov. Tendo em vista o zoneamento fitoestratigráfico, originalmente estabelecido por Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) e recentemente atualizado por Iannuzzi et al. (2007), existente para o estado do Rio Grande do Sul, o novo táxon deve pertencer à Zona de Associação *Botrychiopsis plantiana*, por ser encontrado dentro do Grupo Itararé. Conforme aquele zoneamento, é bastante provável que *G. sulriograndensis* sp. nov. seja uma forma restrita à Subzona *Phyllothea indica*, por ocorrer no topo do Grupo Itararé, onde é comum encontrar apenas impressões de vegetais fósseis uma vez que os pelitos deste intervalo não apresentam nenhuma matéria orgânica preservada. Neste sentido, a nova espécie pode vir a tornar-se um fóssil-guia se for assinalado em outras localidades no futuro. No Quadro 1 pode-se observar as distribuições estratigráficas atualizadas dos principais táxons vegetais ao longo das fitozonas presentes no referido fitozonamento para o Estado, já incluindo a nova espécie aqui descrita.

A introdução deste novo elemento para a “Flora *Glossopteris*”, contribui para aumentar a diversidade já relativamente alta das taofloras eopermianas registradas no sul da Bacia do Paraná, estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Nesse sentido, destacam-se em Santa Catarina, os afloramentos da Camada Irapuá, no município de Criciúma, que juntos apresentam cerca de 70 táxons descritos (Bernardes-de-Oliveira, 1980). No Rio Grande do Sul, o afloramento Morro do Papaléo é o mais rico, apresentando em torno de 35 táxons (distribuídos em cinco níveis fossilíferos distintos), e o estado, como um todo, tem entre 40 e 50 táxons registrados (Iannuzzi et al., 2006, 2007; Tybusch & Iannuzzi, 2008; Souza & Iannuzzi, 2009). Em comparação com o Permiano Inferior de bacias circum-vizinhas da Argentina (Archangelsky et al., 1996), as paleofloras do sul do Brasil mostram-se mais ricas. No entanto, quando relacionadas às floras indianas de idade similar (Maheshwari, 1992), nota-se o inverso, sendo bem menos diversa a “Flora *Glossopteris*” na Bacia do Paraná. Tais discrepâncias podem ser decorrentes tanto de diferenças paleofitogeográficas ao longo do Gondwana, como podem ser apenas consequência de diferenças no nível de conhecimento das floras em cada país, região ou continente, o que é bem provável neste caso. Neste sentido, a descrição de novos táxons, como o aqui proposto, auxilia na difícil tarefa de esclarecer o real nível de diversidade que alcançou a “Flora *Glossopteris*” na América do Sul e, em especial, na área de abrangência da Bacia do Paraná.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através de bolsas e auxílios (processos 130053/2005-8, PQ309322/2007-3), fundamental para a realização deste trabalho; a Eduardo Premaor (PPGGeo-UFRGS) pela ilustração do mapa e perfil; e a Luiz Flávio Lopes (DPE-UFRGS) pela produção do material fotográfico. Este trabalho é uma contribuição do Centro de Investigação do Gondwana (CIGO) aos projetos do CNPq (processos 474153/2004-5, 483463/2007-8) e da FAPERGS (PROAPP-04/1066.0).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARBER, E.A.N. The Clarke collection of fossil plants from New South Wales. **Quarterly Journal of the Geological Society South Africa**, n. 58, p. 1-26, 1902.
2. ARBER, E.A.N. **Catalogue of the Fossil Plants of the *Glossopteris* Flora**. Department of Geology, British Museum, London, 295 p., 1905.
3. ARCHANGELSKY, S. Las glossopterideas del Bajo de la Leona. **Revista de la Asociacion Geologica Argentina**, v. 12, n. 3, p. 135-166, 1957.
4. ARCHANGELSKY, S.; GONZÁLEZ, C.R.; CÚNEO, N.R.; SABATTINI, N.; CÉSARI, S.N.; ACEÑOLAZA, F.G.; GARCIA, G.B.; BUATOIS, L.A.; OTTONE, E.;

- MAZZONI, A.F.; HÜNICKEN, M.A.; GUTIÉRREZ, P.R. **El Sistema Permico en la Republica Argentina y en la Republica Oriental del Uruguay**. Córdoba, Academia Nacional de Ciencias, 417 p., 1996.
5. BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M.E.C. Tafoflora Eogondvânica da Formação Rio Bonito (Camada Irupá), Bacia do Paraná, Brasil. In: CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGIA Y BIOESTRATIGRAFIA, 2/ CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 1, 1978, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires, 1980, n. 6, p. 69-88.
  6. CARRUTHERS, W. Coal Plants from Brazil. On the Plant Remains from the Brazilian Coal Beds with Remarks on the Genus Flemingites. In Plant, N. The Brazilian Coal Fields. **Geological Magazine**, v. 6, n. 4, p. 5-10, 1869.
  7. CHANDRA, S. & SURANGE, K.R. **Revision of the indian species of Glossopteris**. Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, India, Monografia, n. 2, 301 p., 1979.
  8. CHEMALE JUNIOR, F. Evolução Geológica do Escudo Sulrio-grandense. In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F. (Eds.), **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CIGO, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 13-52, 2000.
  9. DOLIANITI, E. *Gangamopteris angustifolia* e *Gangamopteris buriadica* na Formação Maricá do Rio Grande do Sul. **Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, Notas Preliminares e Estudos**, Rio de Janeiro, n. 87, p. 1-6, 1954 (a).
  10. DOLIANITI, E. A flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina V – gênero *Gangamopteris*. **Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, Notas Preliminares e Estudos**, Rio de Janeiro, n. 89, p. 1-12, 1954 (b).
  11. FEISTMANTEL, O. Fossil Flora of the Gondwana System. I. (suppl.) - The flora of the Talchir-Karharbari beds. **Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica**, series 12, n. 3, p. 1-64, 1879.
  12. GUERRA-SOMMER, M. & CAZZULO-KLEPZIG, M. Biostratigraphy of the Southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana Sequence: A Preliminary Paleobotanical Approach. In: INTERNATIONAL CONGRÈS DE LA STRATIGRAPHIE ET GÉOLOGIE DU CARBONIFÈRE ET PERMIEN, 12, 1991, Buenos Aires. **Comptes Rendus...** Buenos Aires, 1993, v. 2, p. 61-72.
  13. HARTMANN, L.A.; NARDI, L.V.S.; FORMOSO, M.L.; REMUS, M.V.D.; LIMA, E.F.; MEXIAS, A.S. Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul shield, Brazil. **Pesquisas**, n. 26, p. 45-63, 1999.
  14. HARTMANN, L.A.; LEITE, J.A.D.; SILVA, L.C.; REMUS, M.V.D.; MCNAUGHTON, N.J.; GROVES, D.I.; FLETCHER, I.R.; SANTOS, J.O.S.; VASCONCELOS, M.A.Z. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. **Australian Journal of Earth Sciences**, n. 47, p. 829-844, 2000.
  15. IANNUZZI, R.; SCHERER, C.M.S.; SOUZA, P.A.; HOLZ, M.; CARAVACA, G.; ADAMI-RODRIGUES, K.; TYBUSCH, G.P.; SOUZA, J.M.; SMANIOTTO, L.P.; FISCHER, T.V.; SILVEIRA, A.S.; LYKAWKA, R.; BOARDMAN, D.R.; BARBOZA, E.G. Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná. In: Carlos Schobbenhaus et al. (Eds.), **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Volume II. Disponível em <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio101/sitio101.pdf>, 2006.
  16. IANNUZZI, R.; SOUZA, P.A.; SCHERER, C.M.S.; HOLZ, M. Plantas Fósseis na Bioestratigrafia dos Depósitos Permianos do Rio Grande do Sul. In: R. IANNUZZI & J.C. FRANTZ (Eds.), **50 Anos de Geologia**, Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre: Ed. Comunicação e Identidade, p. 265-281, 2007.
  17. LUNDQVIST, G. Fossile Pflanzen der *Glossopteris* Flora aus Brasilien. Stockolm, **Svenska Vetenskad. Handl.**, v. 60, n. 3, p. 1-36, 1919.
  18. KOVÁCS-ENDRÖDY, E. The taxonomic status of the genus *Rubidgea*. **Bothalia**, v. 2, n. 12, p. 313-317, 1977.
  19. KUHN, A.G. & FRANK, H.T. Projeto Piquiri. Geologia da Faixa IX. **Relatório Geológico GEO 239**. Porto Alegre, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 164 p., 1983.
  20. MAHESHWARI, H.K. Provincialism in Gondwana floras. **The Palaeobotanist**, n. 40, p. 101-127, 1992.
  21. MAITHY, P.K. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 26. Glossopteridales from the Karharbari beds, Giridih coalfield, India. **The Palaeobotanist**, v. 13, n. 1, p. 248-263, 1965.
  22. MAITHY, P.K. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 32. On the genus *Gangamopteris* McCoy. **The Palaeobotanist**, v. 14, n. 1, 2, 3, p. 46-51, 1966.
  23. MCCOY, F. On the fossil botany and zoology of the rocks associated with the coal of Australia. **The Annals and Magazine of Natural History**, v. 20, n. 132, p. 145-157, 1847.
  24. MCCOY, F. A Commentary on "A Communication made by the Rev. W.B. Clarke to His Excellency Sir Henry Barkly, K.C.B., &c., &c., President of the Royal Society of Victoria, on Professor McCoy's new *Taeniopteris*, &c., &c.". **Transactions of the Royal Society of Victoria**, Melbourne, 1860, v. 5, p. 96-107, 1860.
  25. MCCOY, F. Prodrômus of the palaeontology of Victoria. **Geological Survey of Victoria**, Melbourne, Decades I, p. 1-43, II, p. 1-37, 1875.
  26. MILLAN, J.H. Sobre a presença de formas foliares mais primitivas de glossopterídeas (Gênero *Gangamopteris* no Município de Cerquilha, carvão do Eogondwana do Estado de São Paulo). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 61, n. 2, p. 201-213, 1989.
  27. PLUMSTEAD, E. P. Fossil floras of Antarctica. **Trans-Antarctic Expedition, Scientific Reports**, n. 9, p. 7-153, 1962.
  28. RICARDI-BRANCO, F. & BERNARDES DE OLIVEIRA, M.E.C. *Gangamopteris roesleri* sp. nov., da tafoflora Eopermiana de Cerquilha (SP), Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Brasil. **Revista Universidade Guarulhos, Geociências**, v. 5, n. especial, p. 44-48, 2000.
  29. RIGBY, J.F. & CHANDRA, S. Revision of the Permian Gondwana flora from Bacchus Marsh, Victoria: In: IOP CONFERENCE, 3, 1990, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne, 1990, p. 107-113.
  30. ROHN, R.; BABINSKI, M.E.C.B.; RÖSLER, O. *Glossopteris* da Formação Rio do Rasto no sul do estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, 1984, p. 1047-1061.
  31. SEWARD, A.C. Permo-Carboniferous plants from Kashmir. **Record Geological Survey of India**, n. 36, p. 481-487, 1907.
  32. SEWARD, A.C. Fossil Flora of Cape Colony. **Annals South Afrika Museum**, n. 4, p. 83-90, 1908.
  33. SEWARD, A.C. **Fossil Plants**. Cambridge: Cambridge University Press, v. 2, 608 p., 1910.
  34. SOUZA, J.M. & IANNUZZI, R. The genus *Cordaicarpus* Geinitz in the Lower Permian of the Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 12, n. 1, p. 17-28, 2009.
  35. STEWART, W.N. & ROTHWELL, G.W. **Paleobotany and the evolution of plants**. Cambridge: Cambridge University Press, 521 p., 1993.
  36. SURANGE, K.R. & SRIVASTAVA, P.N. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 5. Generic status of *Glossopteris*,

- Gangamopteris* and *Palaeovittaria*. **The Palaeobotanist**, v. 5, n. 1, p. 46-49, 1956.
37. TYBUSCH, G.P. & IANNUZZI, R. Reavaliação taxonômica dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 11, n. 2, p. 73-86, 2008.
38. WALKOM, A.B. Paleozoic floras of Queensland. Part I. The flora of the Lower and Upper Bowen series. **Queensland Geological Survey**, n. 270, p. 1-64, 1922.
39. WHITE, D. Fossil Flora of the Coal Measures of Brazil. In: WHITE I. C., Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil, **Relatório Final**, p. 558-568, 1908.
40. ZEILLER, R. Note sur la Flore Fossile des Gisements Houillers de Rio Grande do Sul (Bresil Meridionale). **Bulletin de la Societe Geologique de France**, v. 3, n. 23, p. 601-29, 1895.

*Manuscrito Recebido em: 30 de setembro de 2009*  
*Revisado e Aceito em: 20 de novembro de 2009*



## Capítulo 3

“*Glossopteris occidentalis* white emended: geographic and biostratigraphic implications”. GRACIELA PEREIRA TYBUSCH & ROBERTO IANNUZZI. *Rev. bras. paleontol.* 13(1):33-40, Janeiro/Abril 2010.



## GLOSSOPTERIS OCCIDENTALIS WHITE EMENDED: GEOGRAPHIC AND BIOSTRATIGRAPHIC IMPLICATIONS

GRACIELA PEREIRA TYBUSCH & ROBERTO IANNUZZI

Depto. de Paleontologia e Estratigrafia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil.  
*gracielatybusch@yahoo.com.br, roberto.iannuzzi@ufrgs.br*

**ABSTRACT** – Analysis of the type-material and new specimens from the Morro do Papaléo outcrop, in Rio Grande do Sul State, permitted the reevaluation of *Glossopteris occidentalis* White, 1908. The specific diagnosis is emended to include new features related to venation (midrib structure, angles of emergence and divergence of secondary veins, mesh shapes and vein density) and leaf shape. The emended diagnosis better discriminates this species from other members of the genus. The geographic distribution of this species, originally constrained to localities in southern Santa Catarina State, is now extended to Morro do Papaléo and Faxinal Mine localities in Rio Grande do Sul. *Glossopteris occidentalis*, considered previously to be restricted to the Rio Bonito Formation, has now been recorded in the uppermost part of the Itararé Group, extending its range from middle Sakmarian to early Artinskian.

**Key words:** *Glossopteris occidentalis*, Paraná Basin, Itararé Group, Rio Bonito Formation, Lower Permian, southern Brazil.

**RESUMO** – A análise do material tipo e novos espécimes provenientes do afloramento Morro do Papaléo, no Rio Grande do Sul, possibilitou a reavaliação da espécie *Glossopteris occidentalis* White, 1908. A partir desta análise foi proposta uma emenda à diagnose original, onde foram incluídas novas características quanto à venação (venação mediana, ângulos de emergência e divergência da venação secundária, tipos de malha formada pela venação secundária e densidade de venação) e ao formato da folha. Esta nova diagnose permitiu uma comparação mais efetiva com as demais espécies já descritas para o gênero *Glossopteris*, o que confirmou *G. occidentalis* como um táxon válido. Além disso, foi possível ampliar a distribuição geográfica desta espécie, originalmente descrita para localidades ao sul do Estado de Santa Catarina, para os afloramentos Morro do Papaléo e Mina do Faxinal, ambos situados no Estado do Rio Grande do Sul. Em termos bioestratigráficos, *G. occidentalis*, um táxon até então restrito à Formação Rio Bonito, teve sua distribuição ampliada para o topo do Grupo Itararé, estabelecendo assim sua ocorrência para o Eopermiano (intervalo Sakmario médio-Artinskiano precoce). As demais ocorrências fora da bacia do Paraná foram brevemente relatadas.

**Palavras-chave:** *Glossopteris occidentalis*, bacia do Paraná, Grupo Itararé, Formação Rio Bonito, Permiano Inferior, Brasil.

### INTRODUCTION

Glossopterid leaves are the most abundant terrestrial macrofossils throughout the Permian of Gondwana. However, their limited range of characters has left them poorly resolved taxonomically. Even the generic characters have been reevaluated many times over the past 200 years by authors such as Brongniart (1828), Schimper (1869), Feistmantel (1876, 1881), Arber (1905), Pant & Gupta (1968), Kovács-Endrödy (1976) and Chandra & Surange (1979).

The chief problems for species delimitation within the genus are: (i) apparently great intraspecific variation in venation pattern, (ii) the relatively few morphological characters available in these simple leaves, and (iii) the scarcity of leaves with well-preserved cuticular characters or attached fructifications. Where only impressions are available, the identification of each glossopterid morphogenus is based upon lamina modifications (e.g. presence/absence of a sagittate base, secondary vein arrangement, and presence/absence of anastomoses). Leaf shape and size have

generally been considered relevant only for morphospecies discrimination (Chandra & Surange, 1979; Srivastava, 1991; Chandra & Singh, 1992). Despite these difficulties, glossopterid leaves and fructifications have been commonly used to biostratigraphically subdivide the Permian successions of many Gondwanan basins (Chandra & Surange, 1979).

*Glossopteris occidentalis* was the only species of the morphogenus *Glossopteris* to have been erected by D. White in his “Report on the Fossil Flora of the Coal Measures of Brazil”, published in the Final Report of the “Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil”, by I. C. White (White, 1908). This species has become known as one of the iconic fossils of the “*Glossopteris* Flora” in the Paraná Basin, and was considered endemic to Brazil.

However, in recent decades, the adequate comparison between D. White’s species and other species of *Glossopteris* has become impracticable, since the diagnoses of many of the latter have been greatly extended to include a broad range of diagnostic characters not considered in the

circumscription of *G. occidentalis*. The morphological parameters used by White for establishment of this species are generally considered insufficient, nowadays, for clear recognition of the species.

Recently, one of the authors (RI) re-examined the type material of *G. occidentalis*. Additionally, new specimens attributable to this species have been collected at the Morro do Papaléo outcrop, southern Brazil, in recent years. Therefore, the main goal of this study is to re-evaluate the diagnostic characters of *Glossopteris occidentalis* White, 1908 based on the type material and new specimens housed in the collection at UFRGS (Federal University of Rio Grande do Sul).

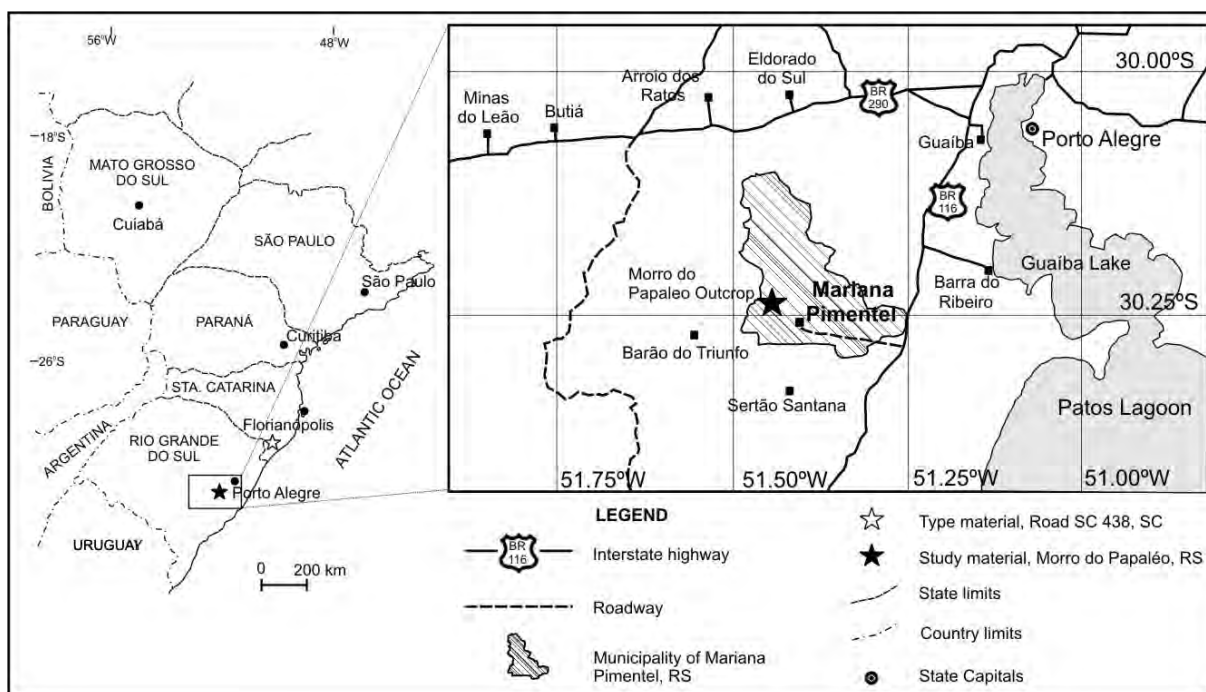
## GEOLOGY

The type material of *G. occidentalis* was collected during the expeditions mentioned in the Final Report of I. C. White (White, 1908), to the Rio do Rastro Road (SC 438), near the city of Lauro Müller, in the State of Santa Catarina, southern Brazil. The specimens correspond to the Lot 3923 of White, which is equivalent to Horizon II (2) of Mendes (1952) and Rigby (1972). According to Mendes (1952), Horizon II is located stratigraphically above the “Bonito Coal” layer and below the “Irapuá Coal” layer, in the region of Lauro Müller. These coal layers are part of the Siderópolis Member, top of the Rio Bonito Formation in the coal basin of Santa Catarina State, according to Bortoluzzi *et al.* (1978).

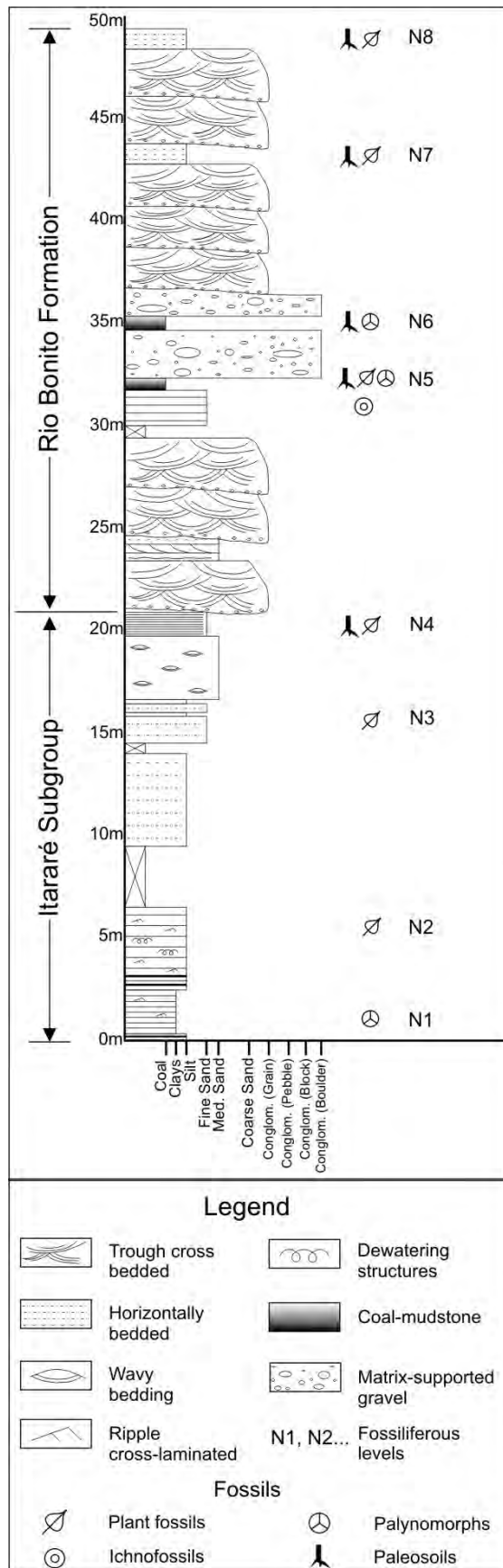
The fossiliferous layer consist of yellowish-gray siltstones with weak lamination bearing indeterminate lycosid leaves, *Glossopteris* and *Cordaites* (= *Noeggerathiopsis*) leaves, *Paracalamites*-type stems and *Sphenopteris*-type fern fronds, according to White (1908) and Rigby (1972).

In terms of depositional paleoenvironments, Bortoluzzi *et al.* (1978) indicated that the Rio Bonito Formation in this area accumulated in a low-gradient fluvial complex associated with swampy lagoons on a coastal plain. Krebs (2004) interpreted the interrelated facies identified in the Siderópolis Member to represent deposition within a lagoonal and deltaic system, under fluvial and wave influence. In this context, the fossiliferous layers are considered to represent fluvial floodplain deposits.

The new material comes from the Morro do Papaléo outcrop representing an abandoned kaolin mine located in the town of Mariana Pimentel, about 100 km southwest of Porto Alegre city (Figure 1). Samples were collected in stratigraphic context with reference to the profile measured by Iannuzzi *et al.* (2003a,b, 2006) representing the upper portion of the outcrop (Figure 2). Beds N4, N7 and N8 host *Glossopteris occidentalis*. Bed N4 represents the top of the Itararé Group in the section according to Iannuzzi *et al.* (2003a,b, 2006) and is composed of finely laminated, light gray siltstones bearing leafy axes of *Phyllothea* and *Stephanophyllites*, leaves of *Glossopteris*, *Gangamopteris*, *Cheirophyllum*, *?Dicranophyllum*, *Kawizophyllum* and *Cordaites*, and seeds of the *Samaropsis* and *Cordaicarpus* (Figure 2). Beds N7 and N8, located at the top of the exposed section at Morro do Papaléo belong to the Rio Bonito Formation, Guatá Group (Figure 2), and are composed of lens-shaped bodies of coarse, conglomeratic sandstone, intercalated with fine whitish gray siltstones, as described by Iannuzzi *et al.* (2003a,b, 2006). Most of the material used in this study, together with impressions of diverse stems, fronds, leaves and seeds (*Brasilodendron*, *Asterotheca*, *Neomariopteris*, *Pecopteris*, *Sphenopteris*, *Glossopteris*, *Gangamopteris*, *Arberia*, *Kawizophyllum*, *Cordaites*, *Ginkgophytopsis*, *Samaropsis* and *Cordaicarpus*) derive



**Figure 1.** Map showing the Morro do Papaléo outcrop, town of Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul State (black star). Note also the approximate location of the type material, Road SC 438, near town of Lauro Müller, Santa Catarina State (white star) (modified from Iannuzzi *et al.*, 2006).



**Figure 2.** Stratigraphic section of the Morro do Papaléo outcrop showing the plant-bearing levels (N1, N2, etc.) as described in the text (modified from Iannuzzi *et al.*, 2006).

from these siltstones. According to Iannuzzi *et al.* (2003a,b, fig. 1), the basal beds (N1 to N4), correspond to lagoonal or lacustrine deposits (Itararé Group), whereas beds N7 and N8 represent typical floodplain deposits (Rio Bonito Formation, Guatá Group).

### MATERIAL AND METHODS

Four specimens constituting the type material (syntypes) of *Glossopteris occidentalis* White, 1908 in the National Museum of Natural History (Smithsonian Institution), prefixed USNM and 32 additional specimens collected from the Morro do Papaléo outcrop were analyzed. The latter are housed in the Paleontology Museum (PM) of the Department of Paleontology and Stratigraphy (DPE) of the Geosciences Institute (IGeo) of the Federal University at Rio Grande do Sul (UFRGS), cataloged under the code prefix MP-Pb.

The studied specimens are impressions, except for one syntype (USNM 31944), which is a compression. Thus, the material was studied using standard methodologies for leaf adpressions (observations and measurements were made with a stereomicroscope and caliper; the material was illustrated with the aid of digital photography and camera-lucida line drawings).

Leaf morphographic characteristics, such as the shape of the lamina and the types of leaf apices and bases, were defined in accordance with the scheme adopted by Chandra & Surange (1979) adapted from Dilcher (1974); the characteristics of venation density, emergent and divergent angles of secondary venation, and the maximum width of the midrib venation follow the criteria of Rohn *et al.* (1984). Estimates of total leaf size for incomplete specimens derive from the scheme of Ash *et al.* (1999) modified of Webb (1959), in which seven classes of leaf size are defined according to the area of the lamina, namely: leptophyll, nanophyll, microphyll, notophyll, mesophyll, macrophyll and megaphyll. Terminology for vein anastomoses is that of Tybusch & Iannuzzi (2008) as showed in Figure 3: (i) oblique cross-connections (veins originating at acute angles from a fork of the secondary veins); (ii) tranverse cross-connections (veins originating transversely from the dominant secondary veins, *i.e.*, those sub-parallel to the midrib that connect neighboring secondaries); (iii) X-type cross-connections (veins originating from the convergence or crossing of neighboring secondary veins).

The supra-generic classification used herein is that of Stewart & Rothwell (1993).

### SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

Division TRACHEOPHYTA  
 Class GYMNOSPERMOPSIDA  
 Order GLOSSOPTERIDALES  
 Genus *Glossopteris* Brongniart, 1828

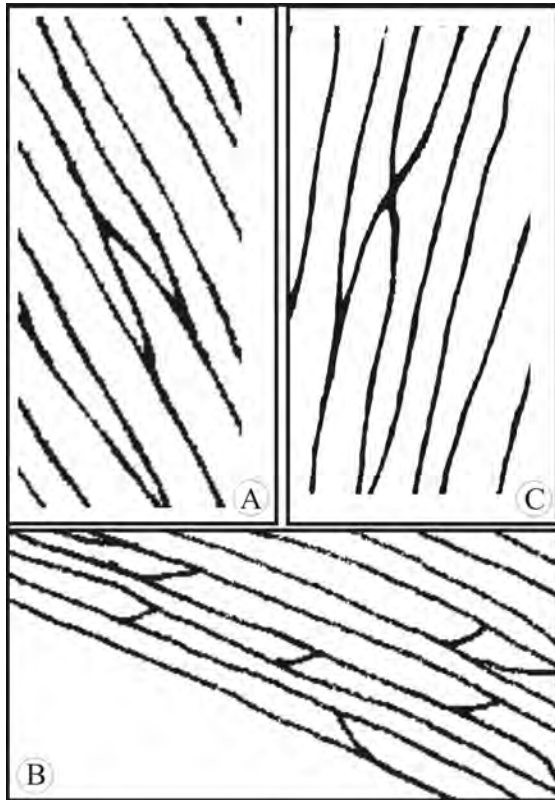
**Type species.** *Glossopteris browniana* Brongniart, 1828.

*Glossopteris occidentalis* White, 1908 emend.  
 (Figures 4-6)

1941 *Glossopteris* cf. *G. ampla* (*auct. non.*) Dana. Read, p. 76-79, pl. 4, fig. 5.

1948 *Taeniopteris* sp. (*auct. non.*) Dolianiti, p. 17, pl. 6, fig. 1.





**Figure 3.** Three categories of anastomoses present in glossopterid leaves as defined by Tybusch & Iannuzzi (2008). **A**, oblique cross-connection; **B**, transverse cross-connection; **C**, X-type cross-connection (from Tybusch & Iannuzzi, 2008).

1953a *Glossopteris stricta* (auct. non.) Bunbury. *Dolianiti*, p. 2-4, pls. 1-2.

1953b *Taeniopteris feddeni* (auct. non.) Feistmantel. *Dolianiti*, p. 2-3, pls. 1-2.

**Syntypes.** USNM 31944, 31945, 31946 and 31947.

**Additional material.** MP-Pb 3570, 3650, 3696A, 3696B, 3711, 3712, 3713A, 3713B, 3716, 3717A, 3717B, 3718, 3719, 3720, 3721, 3722, 3725, 3726, 3727, 3728abA, 3728abB, 3728aD, 3728aE, 3751, 3940, 3981, 3982, 3983A, 3983C, 3984A, 3985A, 3985B.

**Type locality.** Rio do Rastro Road (SC 438), near Lauro Müller, Santa Catarina State, southern Brazil.

**Locality of additional material.** Morro do Papaléo outcrop, in the town of Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul State, southernmost Brazil.

**Type horizon.** Lot 3923 of White, equivalent to Horizonte II (2) of Mendes (1952) and Rigby (1972).

**Stratigraphic position of additional material.** Fossiliferous levels N4 (at the top of the Itararé Group) and N7 and N8 (Rio Bonito Formation), according to Iannuzzi *et al.* (2003a,b, 2006).

**Age.** Early Permian (middle Sakmarian-early Artinskian).

**Emended diagnosis.** Oblanceolate to nearly oblanceolate leaf, margin entire with acute apex, in some cases rounded, base tapering acute, gradually contracting into a broad and winged petiole. Midrib broad, composed of multiple well-defined, thick, parallel veins that gradually decrease in width towards the apex and are locally interconnected by oblique veins. Secondary veins emerge from the midrib at angles of 15°-39° and bend sharply, then follow a straight and parallel course at nearly right angles to the midrib to the margin, immediately

before which they arch gently distally, reaching the margin at angles of 60°-79°. Venation density uniform along the leaf: 36-55 veins per cm in both middle and distal portions of the lamina. Secondary venation anastomosing, incorporating oblong-polygonal and short meshes near the midrib and by linear-oblong, trapezoid to polygonal meshes in the middle-distal portion of the lamina; mesh density decreases towards the margin. Transverse-type cross-connecting veins present throughout the lamina.

**Description of type material.** See White (1908, p. 510-517) and Figure 4 herein.

**Description of additional material.** The additional specimens from Rio Grande do Sul are complete to variably fragmented impressions that all show excellent preservation of venation. The leaves have entire margins and vary from notophyll to macrophyll size; they may reach more than 40.9 cm long (*e.g.* MP-Pb 3650: Figure 5B); widths are 6.2-11.2 cm in the more complete specimens, but may exceed 12.7 cm in some fragmentary specimens. The lamina varies from oblanceolate to narrowly oblanceolate (Figures 5B-D), but may include some specimens with a tendency towards oblong shape (MP-Pb 3984A, Figure 5A) where more parallel margins are evident. Most specimens have tears in the lamina along the secondary veins. The apices are acute, though rounded in some cases (Figures 5B-E); the bases contract acutely into a broad and winged stalk or petiole (Figure 5D). The midrib is well defined, 1.0-1.4 cm wide in the proximal portions, but only 0.3-0.9 wide in the middle parts. The midrib is formed by a bundle of around 19 to 20 thick parallel veins in the proximal portion, 11-18 veins, in the middle portion, reducing to about 8-4 veins in the distal region; the midrib persists to the apex. The midrib veins are locally interconnected by oblique cross-veins. The secondary venation is very clear, especially in specimen MP-Pb 3570 (Figure 6), due to the contrast produced by a thin coating of iron oxide on some specimens. The secondary veins derive from the midrib venation at 15°-39°, and immediately arch sharply then pass straight and parallel, at almost right-angles to the midrib, towards the leaf margin forming a taeniopteroid pattern; close to the margin, the secondary veins curve slightly towards the apex, reaching the margin at 60°-79° (Figure 6). Venation density is roughly uniform throughout the lamina in the range: 36-46 veins per cm, although secondary vein density increases slightly from the midrib to the margin (Figure 6). Very narrow, elongate areolae occur between the secondary veins across most of the lamina except near the midrib where they are oblong-trapezoid/polygonal and slightly wider and shorter. Transverse-type cross-connections are predominant between the main secondary veins (Figure 6).

**Discussion.** There are strong similarities between the type material and the additional specimens from Rio Grande do Sul, although a few subtle differences are evident. Whereas the Rio Grande do Sul leaves vary from oblanceolate to narrowly oblanceolate (Figure 5), the syntype USNM 31944 (Figure 4B) has more parallel lateral margins suggesting a narrowly oblong lamina. Only specimens MP-Pb 3984 (Figure 5A) and MP-Pb 3985A approach this shape. White (1908) did not include gross shape characters in his diagnosis of *G. occidentalis*, since his material was limited and very fragmented. The apparent oblong shape of USNM 31944 (Figure 4B), is probably a taphonomic artifact since the left margin of the mid-lamina is slightly folded over itself.

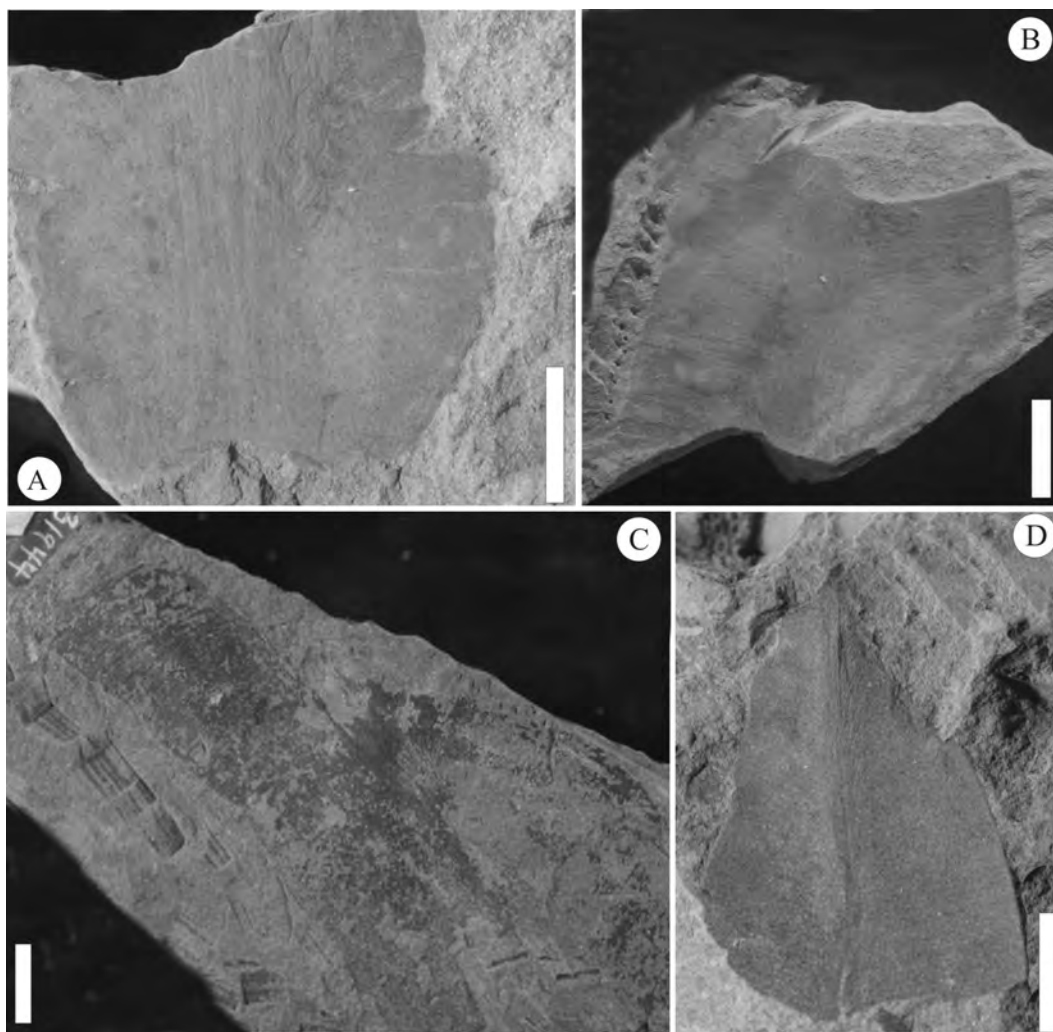
Another difference observed between the material analyzed and the type material was the venation density. While White's syntypes have venation densities of 48-55 veins per centimeter whereas that in the Rio Grande do Sul specimens ranges from 36-46 veins per centimeter. Material assigned by Bernardes-de-Oliveira (1969, 1977) to *Glossopteris* cf. *G. occidentalis* also has less dense venation (35-42 veins/cm). The latter specimens are from the Bainha outcrop, situated in the city of Criciúma, Santa Catarina State, southern Brazil, and also belong to the Siderópolis Member of Rio Bonito Formation. Thus, this material is located both geographically and stratigraphically close to the source of White's material. The high venation densities evident in the four syntypes studied by White may represent extreme values for the general population of this species (now represented by over 90 specimens).

Towing to these extended ranges of intraspecific variation, the original diagnosis has been emended. Additionally, the new material provides new and more detailed characters that allow more complete circumscription of the species and comparison with others.

Many specimens of *G. occidentalis* are characterized by deep and frequent lacerations across the lamina parallel to venation (White, 1908; Dolianiti, 1948, 1953a,b; Bernardes-

de-Oliveira, 1969, 1977; present study Figures 4A-B and 5A-B). This feature suggests that the lamina was thin, but tearing was probably also facilitated by the strongly taeniopteroid arrangement of the secondary venation and weak cross-connections between the veins.

Few other species from Gondwana are similar to the Brazilian *G. occidentalis*. The venation pattern in *G. occidentalis* is broadly similar to *Glossopteris gigas* Pant & Singh (in Chandra & Surange, 1979; Chandra & Singh, 1992), *G. communis* Feistmantel, *G. damudica* Feistmantel, *G. indica* Schimper (cf. Kovács-Endrödy, 1976; Chandra & Surange, 1979; Chandra & Singh, 1992) and *G. plumata* McLoughlin (in McLoughlin, 1993), with respect to the high density of veins and areolae shapes. *Glossopteris taeniopteroides* Feistmantel (in Maheshwari, 1965; Kovács-Endrödy, 1976), *G. waginanus* Rigby (in Rigby *et al.*, 1988) and *G. ampla* Dana (in Archangelsky, 1958; Rigby, 1966; Kovács-Endrödy, 1976) are alike in the oblong, trapezoidal to polygonal meshes abutting the midrib transitioning to very narrow and elongated meshes in the middle and distal portions of lamina. However, *G. occidentalis*, as redefined here, is distinguished from *G. communis*, *G. gigas* and *G. plumata* in (i) having more uniform meshes across the leaf lamina (with meshes just a little wider close to the midrib), (ii) having less acute secondary



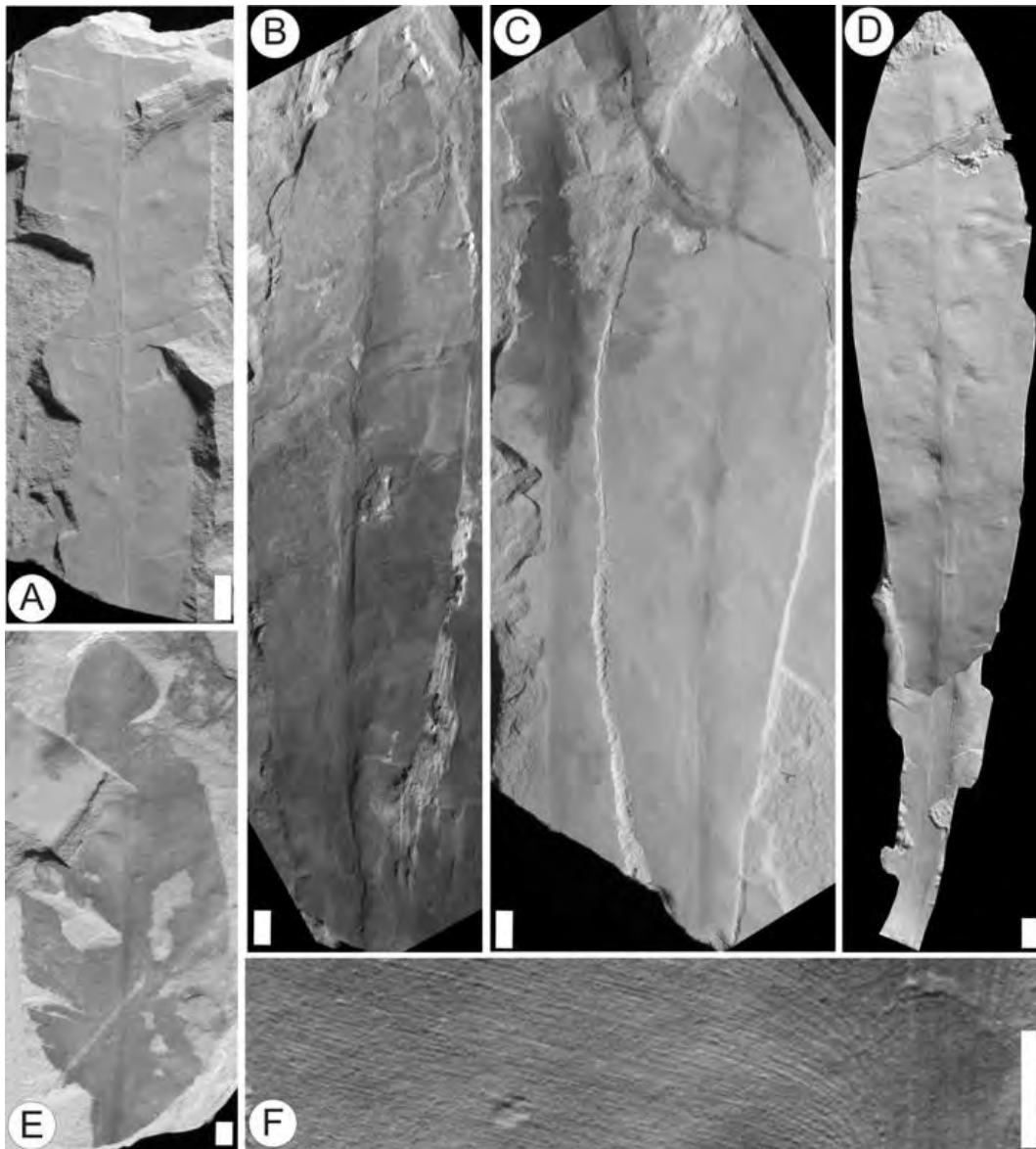
**Figure 4.** *Glossopteris occidentalis* (White) emended. **A**, syntype USNM 31945, showing the leaf base; **B**, syntype USNM 31944, median region of leaf; **C**, syntype USNM 31946, apical region of leaf; **D**, syntype USNM 31947, fragment showing leaf apex. Scale bars = 1 cm.

veins emerging from the midrib that are joined by predominantly transverse-type cross-connections, and (iii) presenting the oblanceolate shape of the lamina, except in the case of *G. plumata* which shows also a oblanceolate-shaped leaf. It differs from *G. damudica* in being larger with oblanceolate to narrowly oblanceolate shape, entire margin, acutely rounded apex, gradually contracted acute base and, less obtuse secondary veins. *Glossopteris indica* shares with *G. occidentalis* an oblanceolate shape (specimens with length/width ratio of 4:1), acute apex and the presence of oblique cross-connections amongst the secondary venation. However, *G. occidentalis* differs in having leaves with greater dimensions, bases truncate and acute bases that gradually contract towards the petiole, and secondary veins that emerge at less acute angles. Finally, *G. occidentalis* is also

distinguished from *G. taeniopteroides*, *G. waganus* and *G. ampla* in having a persistent and very broad midrib, higher venation density and oblanceolate to narrowly oblanceolate shape.

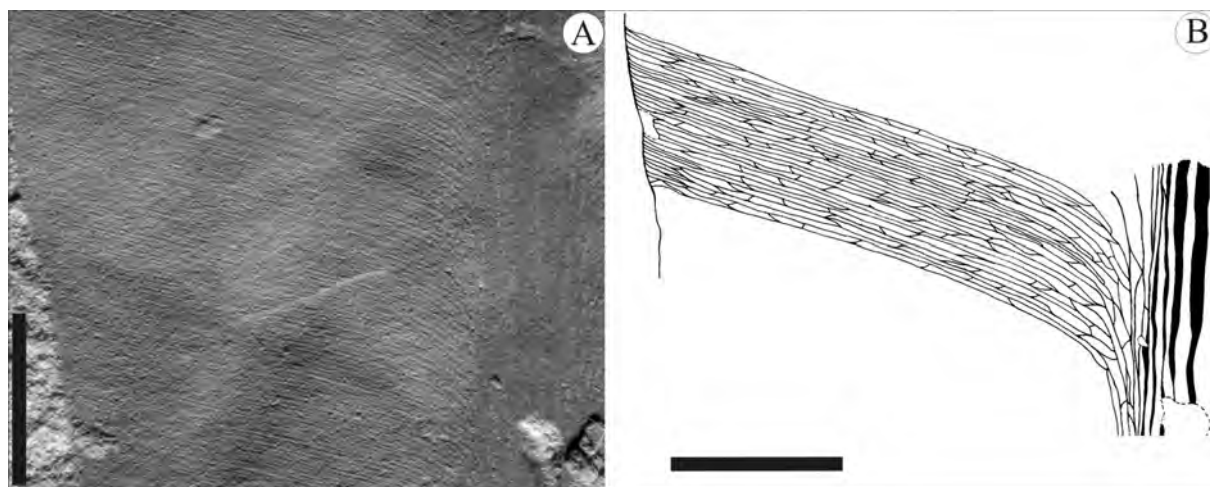
*Glossopteris occidentalis* is, thus, considered a legitimate taxon and readily distinguished from other species on the basis of characters outlined in the emended diagnosis.

Emendation is based on re-analysis of the syntypes and morphological characters preserved in 32 specimens in the paleobotanical collection of the Museum of Paleontology at DPE-IGeo-UFRGS, recovered from the Morro do Papaléo outcrop. The Rio Grande do Sul specimens provided key characters of the midrib and secondary venation not available in the syntypes, and this has allowed more precise comparison with other *Glossopteris* morphospecies.



**Figure 5.** *Glossopteris occidentalis* (White) emended. **A**, specimen MP-Pb 3984A, leaf fragment with parallel margins, suggesting an oblong lamina; **B**, specimen MP-Pb 3650, almost complete narrow oblanceolate leaf with acute apex; **C**, specimen MP-Pb 3728AE, almost complete narrow oblanceolate leaf with acute apex, tapering gently to an acute base; **D**, reconstruction of the leaf form from specimens MP-Pb 3728AE; **E**, specimen MP-Pb 3983A, apical and median region of oblanceolate leaf; **F**, specimen MP-Pb 3570, details of the venation. Scale bars = 1 cm with exception of F (0.5 cm).





**Figure 6.** *Glossopteris occidentalis* (White) emended, specimen MP-Pb 3570. **A**, photo showing details of the venation; **B**, drawing showing the venation pattern. Scale bars = 1 cm.

### DISTRIBUTION OF THE SPECIES

Originally described by White (1908) from a site near Lauro Müller, southern Santa Catarina State, Brazil, the species is now also recognized from Bainha outcrop, city of Criciúma, Santa Catarina (Dolianiti, 1948, 1953; Bernardes-de-Oliveira, 1969, 1977) and Morro do Papaléo outcrop, Rio Grande do Sul (this study). Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) had earlier suggested the occurrence of *G. occidentalis* in Rio Grande do Sul (Mina do Faxinal locality, Rio Bonito Formation). However, the authors did not describe or illustrate the material.

Besides occurrences in the Paraná Basin, *G. occidentalis* has been recognized in the Paganzo and San Rafael basins (Archangelsky *et al.*, 1996). Beyond South America, Bernardes-de-Oliveira & Pons (1975) doubtfully recorded (as *Glossopteris cf. G. occidentalis*) this species in the Zambasi Basin, in the Tetê region of Mozambique, southeastern Africa.

Stratigraphically, *G. occidentalis* was originally interpreted to be restricted to the Rio Bonito Formation but its lower range is now extended to the top of the Itararé Group, based on its occurrences at the Morro do Papaléo outcrop. Thus, it is no longer exclusive to the *Glossopteris/Rhodopteridium* Zone of Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) but initiates in the underlying *Phyllothea indica* Subzone of the *Botrychiopsis plantiana* Zone, as outlined by Iannuzzi *et al.* (2007). Therefore, it ranges from the middle Sakmarian to early Artinskian in the Paraná Basin.

This agrees with its distribution in Argentina, where the species is considered one of the index-fossils for the Early Permian, occurring in the Lower Subzone of the *Gangamopteris* Zone, according to Archangelsky *et al.* (1996). In Argentina, this species has been recognized in the Arroyo Totoral and La Colina formations in the Paganzo Basin and in the lower member of the El Imperial Formation of the San Rafael Basin, all considered to be of Asselian-Artinskian age, according to Archangelsky *et al.* (1996). If confirmed in Mozambique, *G. occidentalis* occurs in the “Productive Series” of the Zambesi Basin, tentatively assigned to the Artinskian by Bernardes-de-Oliveira & Pons (1975). Thus, *G. occidentalis*

characterizes Lower Permian assemblages from intracratonic basins of southwestern Gondwana (southern Brazil, northwest Argentina and possibly Mozambique).

### ACKNOWLEDGMENTS

This research is part of the Ph.D. dissertation of the senior author. The authors wish to thank the National Council for Scientific and Technological Development (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq) for support through grants and aid (processes 130053/2005-8 and PQ309322/2007-3), fundamental to this research; to William A. DiMichele for the access to the type material deposited at the NMNH of the Smithsonian Institution; to Dan Chaney for the preparation of the photographs of the type material; and to Luiz Flávio Lopes for the production of the photographs of the described material. The authors are also grateful to Pedro Raúl Gutiérrez and Stephen McLoughlin by the review of the manuscript, helping to improve its final version. This research is a contribution of the Gondwana Investigation Center (Centro de Investigação do Gondwana - CIGO) to the CNPq (processes 474153/2004-5, 483463/2007-8) and FAPERGS (PROAPP-04/1066.0) projects. This paper was a contribution to the XII SBPP (Florianópolis, November 02-05th, 2008).

### REFERENCES

- Arber, E.A.N. 1905. *Catalogue of the Fossil Plants of the Glossopteris Flora*. London, British Museum, 295 p.
- Archangelsky, S. 1958. Estudio geológico y paleontológico del Bajo de la Leona (Santa Cruz). *Acta Geológica Lilloana*, 2:5-133.
- Archangelsky, S.; González, C.R.; Cúneo, N.R.; Sabbatini, N.; Césari, S.N.; Aceñolaza, F.G.; García, G.B.; Buatois, L.A.; Ottone, E.; Mazzoni, A.F.; Hünicken, M.A. & Gutiérrez, P.R. 1996. *El Sistema Permico en la Republica Argentina y en la Republica Oriental del Uruguay*. Córdoba, Academia Nacional de Ciencias, 417 p.
- Ash, A.; Ellis, B.; Hickey, L.J.; Johnson, K.; Wilf, P. & Wing, S. 1999. *Manual of leaf architecture: morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms*. Washington, Leaf Architecture Working Group of Smithsonian Institution, 65 p. <http://www.peabody.yale.edu/collections/pb/MLA.pdf>

- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1969. *Flora da Formação Rio Bonito: Glossopteris, Noeggerathiopsis, Sphenopteris, Gangamopteris e Rhabdotaenia, na subida do Bainha, Criciúma, Santa Catarina*. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 51 p.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., 1977. *Tafoflora Eogondvânica da camada Irapuá, Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão), SC*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 301 p.
- Bernardes-de-Oliveira M.E.C & Pons, D. 1975. Taphoflora of Karroo in the Zambezi Basin (Tete Region, Mozambique). *Boletim do Instituto de Geociências*, **6**:33-53.
- Bortoluzzi, C.A.; Piccoli, A.E.M.; Bossi, G.E.; Guerra-Sommer, M.; Toigo, M.M.; Pons, M.E.H.; Wolf, M. & Silva, Z.C.C. 1978. Pesquisa geológica na bacia carbonífera de Santa Catarina. *Pesquisas*, **11**:33-192.
- Brongiart, A. 1828. *Histoire des végétaux fossiles ou recherches botaniques et géologiques sur les végétaux renfermés dans les diverses couches du globe*. Paris, G Dufour & Ed. D'Ocagne, 223 p.
- Chandra, S. & Surange, K.R. 1979. *Revision of the Indian species of Glossopteris*. Lucknow, Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, 301 p. (Monografia 2).
- Chandra, S. & Singh, K.J. 1992. The genus *Glossopteris* from the Late Permian beds of Handapa, Orissa, India. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **75**:183-218.
- Dilcher, D.L. 1974. Approaches to the identification of angiosperm leaf remains. *Botanical Review*, **40**:1-57.
- Dolianiti, E. 1948. *A Paleobotânica no Brasil*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 87 p. (Boletim 123).
- Dolianiti, E. 1954a. *Gangamopteris angustifolia e Gangamopteris buriadica na Formação Maricá do Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, p. 1-6 (Notas Preliminares e Estudos 87).
- Dolianiti, E. 1954b. *A flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina V – gênero Gangamopteris*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, p. 1-12 (Notas Preliminares e Estudos 89).
- Feistmantel, O. 1876. Note on the age of some fossil floras of India. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica*, **9**:28-42.
- Feistmantel, O. 1881. The fossil flora of the Gondwana System - 1. The flora of the Talchir-Karharbari Beds. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica, Series 12*, **3**:49-64.
- Guerra-Sommer, M. & Cazzulo-Klepzig, M. 1993. Biostratigraphy of the Southern Brazilian Neopalaeozoic Gondwana Sequence: a preliminary palaeobotanical approach: In: INTERNATIONAL CONGRÈS DE LA STRATIGRAPHIE ET GÉOLOGIE DU CARBONIFÈRE ET PERMIEN, 12, 1991. *Comptes rendus*, Buenos Aires, **2**:61-72.
- Iannuzzi, R.; Marques-Toigo, M.; Scherer, C.M.S.; Caravaca, G.; Vieira, C.E.L. & Pereira, L.S. 2003a. Reavaliação da fitobioestratigrafia da seqüência gondwanica sul-riograndense: estudo de caso do afloramento Morro do Papaléo (bacia do Paraná, Permiano Inferior). In: ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDO E BACIAS, I, 2003. *Anais*, Porto Alegre, UFRGS, p. 182-185.
- Iannuzzi, R.; Marques-Toigo, M.; Scherer, C.M.S.; Caravaca, G.; Vieira, C.E.L. & Pereira, L.S. 2003b. Phytobiostratigraphical revaluation of the southern Brazilian Gondwana sequence (Paraná Basin, Lower Permian). In: INTERNATIONAL CONGRESS ON CARBONIFEROUS AND PERMIAN STRATIGRAPHY, 15, 2003. *Abstracts*, Utrecht, p. 240-242.
- Iannuzzi, R.; Scherer, C.M.S.; Souza, P.A.; Holz, M.; Caravaca, G.; Adami-Rodrigues, K.; Tybusch, G.P.; Souza, J.M.; Smaniotta, L.P.; Fischer, T.V.; Silveira, A.S.; Lykawka, R.; Boardman, D.R. & Barboza, E.G. 2006. Afloramento Morro do Papaléo, Mariana
- Pimentel, R.S. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná. In: C. Schobbenhaus; D.A. Campos; E.T. Queiroz; M. Winge & M.L. Berber-Born (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. vol. 2. <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio101/sitio101.pdf>
- Iannuzzi, R.; Souza, P.A.; Scherer, C.M.S. & Holz, M. 2007. Plantas fósseis na bioestratigrafia dos depósitos permianos do Rio Grande do Sul. In: R. Iannuzzi & J.C. Frantz (eds.) *50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências*. Editora Comunicação e Identidade, p. 265-281.
- Kovács-Endrödy, E. 1976. Notes on some *Glossopteris* species from Hammanskraal (Transvaal). *Palaeontologia Africana*, **19**:67-95.
- Krebs, A.S.J. 2004. *Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da porção correspondente à bacia do rio Araranguá, SC*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Tese de Doutorado, 2 v., 376 p.
- Kurtz, F. 1921. Atlas de plantas fósseis de la República Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, **7**:129-153.
- Maheshwari, H.K. 1965. Studies in the *Glossopteris* Flora of Índia - 22. On some species of the genus *Glossopteris* from the Raniganj Stage of the Raniganj Coalfield, Bengal. *The Paleobotanist*, **13**:129-143.
- McLoughlin, S. 1993. Late Permian plant megafossils from the Bowen Basin, Queensland, Australia: Part 3. *Palaeontographica*, **231B**:31-62.
- Mendes, J.C. 1952. The Gondwana formations of southern Brazil: some of their stratigraphical problems, with emphasis on the fossil flora. *The Palaeobotanist*, **1**:335-345.
- Pant, D.D. & Gupta, K.L. 1968. Cuticular structure of some Indian Lower Gondwana species of *Glossopteris*. *Palaeontographica*, **124B**:45-81.
- Read, C.B. 1941. *Plantas fósseis do Neopalaeozóico do Paraná e Santa Catarina*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 102 p. (Monografia 12).
- Rigby, J.F. 1966. The Lower Gondwana floras of the Perth and Colliie basins, western Australia. *Palaeontographica*, **118B**:113-152.
- Rigby, J.F. 1972. The Upper Palaeozoic flora at Lauro Müller, Santa Catarina, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **44**(suplem.):279-293.
- Rigby, J.F.; Chandra, S. & Surange, K.R. 1988. Glossopterid plant remains in the Permian of Western Australia. *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, **5**:73-78.
- Rohn, R.; Babinski, M.E.C.B. & Rösler, O. 1984. *Glossopteris* da Formação Rio do Rasto no sul do estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984. *Anais*, Rio de Janeiro, p. 1047-1061.
- Schimper, W. 1869-1870. *Traité de Paleontologie Vegetale*. Tomo 1, Paris, J.B. Boilliers et fils, 738 p.
- Srivastava, A.K. 1991. Evolutionary tendency in the venation pattern of Glossopteridales. *Geobios*, **4**:383-386.
- Stewart, W.N. & Rothwell, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. Cambridge, Cambridge University Press, 521 p.
- Tybusch, G.P. & Iannuzzi, R. 2008. Reavaliação taxonômica dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **11**:73-86.
- Webb, L.J. 1959. A physiognomic classification of Australian rainforests. *Journal of Ecology*, **47**:551-570.
- White, D. 1908. Fossil Flora of the Coal Measures of Brazil. In: White I.C., *Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil, Relatório Final*. Imprensa Nacional, 2 v., p. 558-568.
- White, I.C. 1908. *Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil, Relatório Final*. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 2 v., 617 p.



## Capítulo 4

“Estudo das glossopterídeas do afloramento de Rio da Estiva, estado de Santa Catarina (Permiano Inferior da Bacia do Paraná)”. Graciela Pereira TYBUSCH, Roberto IANNUZZI & Oscar RÖSLER. *Pesquisas em Geociências*, 39 (1): 23-33, jan./abr. 2012.

## Estudo das glossopterídeas do afloramento de Rio da Estiva, estado de Santa Catarina (Permiano Inferior da Bacia do Paraná)

Graciela Pereira TYBUSCH<sup>1</sup>, Roberto IANNUZZI<sup>1</sup> & Oscar RÖSLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP: 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: gracielatybusch@yahoo.com.br, roberto.iannuzzi@ufrgs.br.

<sup>2</sup>Academia Brasileira de Ciências. Rua Anfilóbio de Carvalho, 29, 3º andar, CEP: 20030-060, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: orosler@hotmail.com.

Recebido em 01/2011. Aceito para publicação em 04/2012.

Versão online publicada em 01/12/2012 ([www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br](http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br))

**Resumo** - A análise do material proveniente do afloramento de Rio da Estiva, Formação Rio Bonito, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, em Santa Catarina, possibilitou a avaliação das glossopterídeas ali existentes. O conteúdo paleobotânico compreendia, até este trabalho, formas apresentadas apenas em nível genérico, como *Glossopteris* sp. e *Samaropsis* sp., frutificações como *Ottokaria* sp., *Arberia minasica*, *Arberia* sp. e *Hirsutum* sp., além de restos não identificados, tais como caules e prováveis folhas de licófitas. Novas análises, realizadas com exemplares melhor preservados, possibilitaram a separação dos espécimes atribuídos ao gênero *Glossopteris* em três morfoespécies distintas: *Glossopteris communis*, *Glossopteris* cf. *G. indica* e *G. occidentalis*. Além disso, confirmou-se o primeiro registro de folhas do tipo *Gangamopteris* na flora de Rio da Estiva (*G. obovata*), além da presença de frutificações do tipo *Ottokaria* e sementes do tipo *Cardiocarpus*, o que aumentou a diversidade desta associação e a possibilidade de correlação com outras floras pertencentes ao mesmo intervalo na Bacia do Paraná.

**Palavras-chave:** Glossopterídeas, Rio da Estiva, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná, Permiano Inferior, Santa Catarina.

**Abstract**- STUDY OF GLOSSOPTERIDS FROM RIO DA ESTIVA OUTCROP, SANTA CATARINA STATE (LOWER PERMIAN OF PARANÁ BASIN). An analysis of fossil plant material from Rio da Estiva outcrop, in Santa Catarina State, southern Brazil, permitted the evaluation of glossopterid leaves present. Previously to this study, the paleobotanical content was composed of plant remains described in generic level as *Glossopteris* sp. and *Samaropsis* sp., fructifications like *Ottokaria* sp. *Arberia minasica*, *Arberia* sp. e *Hirsutum* sp., besides not-identified plant remains related to stems and probable lycopsid leaves. This contribution worked with the best preserved specimens, which allowed the classification of material originally attributed to genus *Glossopteris* into three distinct morphospecies: *Glossopteris communis*, *Glossopteris* cf. *G. indica* e *G. occidentalis*. Besides of this, it is confirmed for the first time the presence of *Gangamopteris*-type leaves in the flora of Rio da Estiva, e.g. *G. obovata*, and *Ottokaria*-type fructifications and *Cardiocarpus*-type seeds, what increased the diversity of this assemblage and permitted a better correlation between this flora and others belonging to the same interval through the Paraná Basin.

**Keywords:** Glossopterids, Rio da Estiva, Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Lower Permian, Santa Catarina State.

### 1. Introdução

Rösler (1975) reportou pela primeira vez a presença de plantas fósseis no afloramento de Rio da Estiva, no norte de Santa Catarina. O autor avaliou tafonomicamente a flora daquele sítio, destacando a identificação preliminar e a orientação dos fósseis nos diferentes níveis. No entanto, sua análise deteve-se mais em detalhes litológicos, estratigráficos e geográficos, com carência de informações quanto à taxonomia vegetal e sobre o significado paleoecológico das associações averiguadas. A flora de Rio da Estiva, apresentada por Rösler (1975), foi caracterizada pela presença de folhas de

*Glossopteris* (formas com até cerca de 20 cm de comprimento) e uma enorme quantidade de sementes, em concentrações estimadas pelo autor em mais de 10.000 exemplares/m<sup>2</sup>, além de frutificações e caules complementando sua composição. Deste modo, a lista de formas constatadas, foi a seguinte: *Glossopteris* spp., *Samaropsis* sp., sementes indeterminadas, frutificações, caules indeterminados e prováveis folhas de licófitas. Após este trabalho pioneiro, apenas em Bernardes-de-Oliveira *et al.* (2000) foi mencionado o conteúdo paleobotânico deste afloramento tão rico em glossopterídeas.

Sabe-se que as folhas de glossopterídeas, muito comuns e amplamente difundidas nos estra-

tos permianos, constituem o fóssil vegetal mais abundante em todo o Gondwana. Contudo, essas folhas estão entre os macrofósseis vegetais ainda pouco resolvidos em termos de sua classificação e nomenclatura, tendo sido seus morfogêneros definidos e redefinidos por vários autores ao longo do tempo, entre eles Brongniart (1828), Schimper (1869-1870), Feistmantel (1876, 1881), Arber (1905), Pant & Gupta (1968), Kovács-Endrödy (1976) e Chandra & Surange (1979).

O problema com a classificação das folhas de glossopterídeas resulta (i) da grande variedade de padrões de venação que elas apresentam, (ii) das dificuldades na delimitação de características morfológicamente diagnósticas e (iii) dos problemas inerentes para se determinar as “morfoespécies” quando se tem apenas folhas isoladas, normalmente sem estrutura cuticular preservada ou frutificações conectadas. Quando se dispõe apenas de impressões foliares, a identificação de cada morfogênero de glossopterídea é baseada nas características do padrão de venação (presença/ausência de venação mediana e tipo de venação secundária - com ou sem formação de anastomoses). A forma e tamanho foliar são feições que têm sido taxonomicamente relevantes apenas quando as morfoespécies apresentam um padrão de venação muito semelhante entre si (Chandra & Surange, 1979; Srivastava, 1991; Chandra & Singh, 1992).

Apesar destas dificuldades, as folhas e frutificações de glossopterídeas têm sido comumente utilizadas na bioestratigrafia em diversas seções permianas das bacias gondwânicas, uma vez que são compostas por várias espécies de ampla distribuição geográfica e amplitude estratigráfica definida (Chandra & Surange, 1979).

Deste modo, o principal objetivo deste trabalho foi a avaliação das folhas de glossopterídeas presentes na flora do afloramento de Rio da Estiva, a partir da revisão do material paleobotânico existente na coleção do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG/USP).

## 2. Área, materiais e métodos

### 2.1. Localização e aspectos geológicos

O afloramento de Rio da Estiva, segundo Rösler (1975), está localizado à beira da rodovia BR 116, próximo ao Km 139 (trecho Maфра-Patanduva), no município de Itaiópolis, extremo norte do Estado de Santa Catarina (Fig. 1A). Segundo o autor, a camada fossilífera, com cerca de 60 cm de espessura, é formada, principalmente, por folhelhos argilosos com vários leitos carbonosos intercalados

numa sequência de siltitos e argilitos (Fig. 1B), correspondente à porção média da Formação Rio Bonito. O afloramento foi posicionado no Membro Paraguaçu, que se estende desde o terço basal até o limite do terço médio-superior da Formação Rio Bonito, conforme a seção-tipo estabelecida para esta unidade por Bortoluzzi *et al.* (1978) para Santa Catarina. Apesar disto, para Rösler (1975) a composição taxonômica seria mais próxima à do Membro Siderópolis, localizado na porção superior desta unidade.

Em termos de datação absoluta, pode-se apenas fazer uma inferência a partir das recentes datações radiométricas obtidas para níveis de tufos vulcânicos situados na porção média do Rio Bonito no Rio Grande do Sul. Estas análises indicaram uma idade sakmariana média (início do Permiano) para a porção média desta unidade ( $290,6 \pm 1,5$  Ma, *em* Guerra-Sommer *et al.*, 2008), o que equivaleria, estratigraficamente, ao Membro Paraguaçu em Santa Catarina, conforme correlações já propostas por meio do uso da estratigrafia de sequências (ver síntese em Iannuzzi, 2010).

A variação na concentração de estratos carbonosos dentro da camada fossilífera foi utilizada por Rösler (1975) como critério para um rápido e fácil reconhecimento de intervalos dentro da mesma. Com base neste critério, foram reconhecidas nessa camada cinco partes, ou intervalos, denominados, do mais inferior para mais superior, pelas letras A, B, C, D e E. Cada um destes intervalos teve sua litologia, aspectos gerais e conteúdo fossilífero discutidos pelo autor (Fig. 1B). Os níveis que contêm os fósseis estudados são o C e o E. O nível C mede 9 cm de espessura e é formado por folhelho argiloso com leitos muito finos de carvão. Nos níveis mais altos da parte C encontram-se as melhores impressões de folhas de *Glossopteris*. O nível E é mais espesso, com cerca de 29 cm, e inicia-se com um leito carbonoso; compõe-se basicamente de siltito argiloso, com aspecto bandado, devido à alternância de várias colorações de estratos: chocolate (marrom; estratos com fósseis preservados sob a forma de impressões), escura e preta (estratos mais carbonosos) e amarelada (estratos menos fossilíferos). Entre o segundo e terceiro leito carbonoso, encontraram-se os melhores fósseis de glossopterídeas. Essa posição corresponde aos níveis situados a cerca de 15 cm da base do intervalo E.

A ocorrência de numerosos leitos carbonosos com certa ritmicidade, foi também um dos aspectos da camada fossilífera utilizada por Rösler (1975) para análise do paleoambiente deposicional. Para o autor, dada a possível situação paleogeográfica desse ambiente de deposição, nas proximidades

dades do mar e situado em terreno com pequeno declive da planície inter-deltaica (Medeiros & Thomaz Filho, 1973), uma das hipóteses para explicar o

ritmismo observado na camada fossilífera é de que este seria uma consequência das inundações periódicas ocorridas em ambiente de planície de marés.

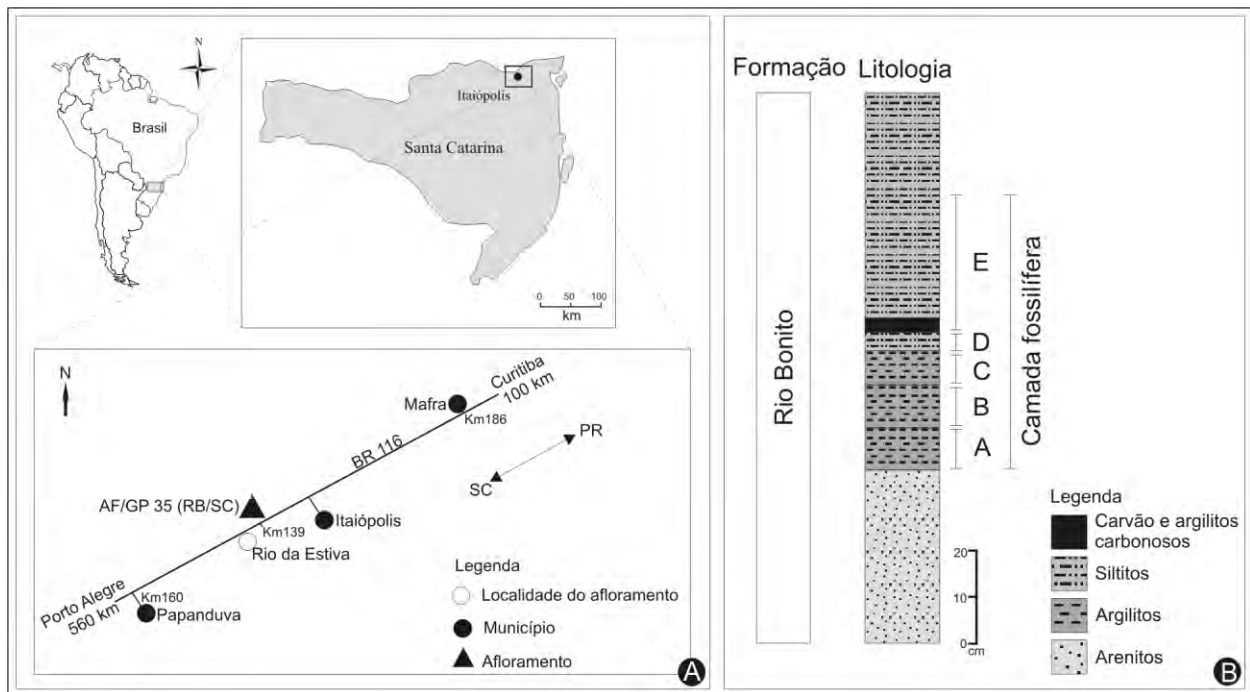


Figura 1. Localização e seção geológica do afloramento estudado. A) Localização e acesso; B) Seção estratigráfica, com indicação das camadas fossilíferas (adaptado de Rösler, 1975).

## 2.2. Amostragem e métodos

O material avaliado encontra-se depositado no Laboratório de Paleontologia Sistemática (LPS) do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA) do IG/USP, tendo sido catalogado sob a sigla GP/3T. Foram revisados os espécimes mais bem preservados da assembleia de Rio da Estiva, totalizando em 12 o número de espécimes selecionados para análise. Estes se encontram preservados apenas sob a forma de impressões, de modo que o estudo do material realizou-se a partir da metodologia padrão utilizada em Paleobotânica para análise de impressões/compressões (observação em lupa binocular, medições a partir de paquímetro, régua e ilustrações elaboradas com auxílio de material fotográfico e desenhos feitos em câmara clara).

Para realizar a descrição e comparação dos espécimes, características morfológicas, tais como forma do limbo e tipos de ápice e de base foliar, foram definidas de acordo com a classificação adotada por Chandra & Surange (1979). Para obtenção das características referentes à densidade de venação, aos ângulos de emergência e divergência da venação secundária e a largura máxima da venação mediana, foram utilizados os parâmetros e as técnicas

descritas por Rohn *et al.* (1984). Com a finalidade de sistematizar, ou mesmo estimar, o tamanho foliar aproximado dos espécimes, mesmo aqueles relativamente incompletos, foi empregada a classificação relativa às dimensões das áreas superficiais dos megáfios proposta por Ash *et al.* (1999), que é composta das seguintes categorias: leptófila (< 25 mm<sup>2</sup>), nanófila (25-225 mm<sup>2</sup>), micrófila (225-2,025 mm<sup>2</sup>), notófila (2,025-4,500 mm<sup>2</sup>), mesófila (4,500-18,225 mm<sup>2</sup>), macrófila (18,225-164,025 mm<sup>2</sup>) e megáfila (>164,025 mm<sup>2</sup>).

Por último, a fim de elucidar a descrição dos tipos de anastomoses presentes na venação da lâmina foliar dos espécimes estudados, levaram-se em consideração as três categorias de anastomoses, como recentemente estipuladas por Tybusch & Iannuzzi (2008), a saber: a) conexões oblíquas; b) conexões transversais (*cross-connections*); c) conexões em "X" (Fig. 2). Segundo Tybusch & Iannuzzi (2008), as conexões oblíquas são aquelas originadas a partir da bifurcação, em ângulos agudos, de veias secundárias vizinhas que seguem paralelamente em direção à margem; as conexões transversais (*cross-connections*) são as originadas de veias transversais (subparalelas às veias medianas ou feixe central, ou em ângulos quase reto) que conectam veias secundárias vizinhas que seguem parale-



lamente em direção à margem; as conexões transversais (*cross-connections*) são as originadas de veias transversais (subparalelas às veias medianas ou feixe central, ou em ângulos quase reto) que conectam veias secundárias vizinhas que seguem paralelamente em direção à margem foliar; enquanto as conexões em “X” representam aquelas originadas do encontro ou cruzamento de veias secundárias vizinhas, que seguem paralelamente em direção à margem foliar.

A sistemática supragenérica utilizada está de acordo com Stewart & Rothwell (1993).

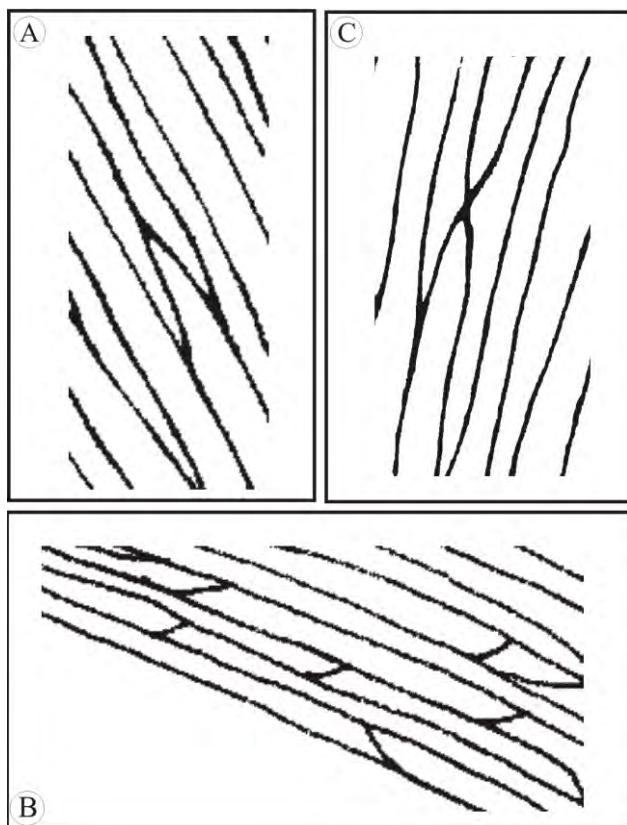


Figura 2. Tipos de anastomoses em folhas de glossopterídeas. A) conexão oblíqua; B) conexão transversal; C) conexão em “X” (retirado de Tybusch & Iannuzzi, 2008).

### 3. Resultados: Sistemática paleontológica

Divisão TRACHEOPHYTA  
 Classe GYMNOSPERMOPSIDA  
 Ordem GLOSSOPTERIDALES  
 Gênero *Gangamopteris* McCoy 1847  
 Espécie-Tipo: *Cyclopteris angustifolia* McCoy 1847  
 (*G. angustifolia* McCoy 1875)  
*Gangamopteris obovata* (Carr.) White 1908  
 Figura 3A

**Material descrito:** GP/3T 2450.

**Descrição:** O material estudado representa uma

folha simples, micrófila, com margem inteira, que se encontra irregular nas porções média e apical devido às possíveis remoções feitas por artrópodes (tecidos de reação); a base foliar e o ápice apresentam-se parcialmente preservados. A forma do limbo é oblanceolada; o mesmo vai estreitando-se em direção à região basal, o que sugere uma base aguda a truncada; o ápice parece ser obtuso a levemente redondo; o comprimento da folha é de aproximadamente 4,5 cm e a largura foliar apresenta valor superior a 1,2 cm. A região mediana é ocupada por veias subparalelas, apresentando venação central mais frouxa, que se iniciam na porção basal, onde anastomoses são muito raras, e seguem até o ápice da folha, onde se apresentam mais difusas. As veias laterais bifurcam-se várias vezes, curvando-se muito suavemente para as margens laterais na porção basal da folha, onde apresentam um ângulo de curvatura que varia de 10° a 12° (ângulos de divergência), e mais acentuadamente nas porções mediana e apical da folha, onde a variação do ângulo é de 15° a 18° (ângulos de divergência). As anastomoses formam-se a partir de conexões oblíquas e, mais raramente, através de conexões em forma de “X”, e ocorrem com maior frequência, especialmente, perto das margens da folha, onde as nervuras encontram-se mais próximas. Por existirem em pouca quantidade, as anastomoses acabam formando retículos poligonais muito alongados.

**Discussão:** Por não apresentar uma venação mediana bem definida, constituída de veias mais próximas entre si, formando um nítido feixe central, e de maior calibre que as demais, a presente forma não pôde ser associada ao gênero *Glossopteris*; por outro lado, corresponde claramente às formas incluídas em *Gangamopteris* que possuem um feixe central de veias paralelas organizados de maneira frouxa (McCoy, 1860; Surange & Srivastava, 1956; Chandra & Surange, 1979; Srivastava, 1991; Maithy, 1998). Em nível específico, o espécime estudado se compara à espécie *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel 1879 (Feistmantel, 1879; Surange & Lele, 1955; Maithy, 1965), por apresentar ápice obtuso a levemente redondo e uma região mediana ocupada por veias subparalelas que se iniciam na porção basal e seguem até o ápice da folha, onde se encontram mais difusas. Contudo, difere desta espécie, principalmente, por apresentar forma oblanceolada do limbo. O formato oblanceolado do espécime estudado lembra ainda os de folhas classificadas em *G. obovata* (Carr.) White 1908 (White, 1908; Millan, 1989, est. I, fig. 3), *G. clarkeana* Feistmantel 1879, *G. intermedia* Maithy 1965 e *G. obliqua* McCoy 1860 (conforme Maithy, 1965). No entanto, o espécime analisado assemelha-se mais diretamente a *G. obovata* por (a) apresentar ápice redondo a obtuso

e limbo estreitando-se gradualmente em direção à região basal, (b) possuir veias laterais que se bifurcam várias vezes e curvam-se suavemente para as margens, na porção basal da folha, e mais acentuadamente, nas porções mediana a apical da mesma, e pela (c) maior frequência de anastomoses junto às margens da folha, onde as nervuras encontram-se mais próximas, feição esta que o diferencia das demais espécies próximas. Tendo em vista que tais características são diagnósticas para a espécie *G. obovata*, justifica-se a inclusão do material neste táxon, apesar de tratar de um único espécime.

Gênero *Glossopteris* Brongniart 1828

Espécie-Tipo: *Glossopteris browniana* Brongniart 1828

*Glossopteris communis* Feistmantel 1876

Figura 3C-D

**Material descrito:** GP/3T 2439A e B, 2440, 2444, 2445 A, 2446, 2447, 2448 e 2449.

**Descrição:** Os espécimes analisados representam folhas simples, com margens inteiras e levemente onduladas; algumas folhas apresentam apenas a região mediana preservada, outras se encontram com a região médio-apical ou médio-basal preservadas, porém, base e ápice estão ausentes em todos os espécimes. Os limbos, apesar de incompletos, sugerem formas oblongas (GP/3E 734 A) a elípticas (GP/3E 724). A dimensão foliar parece variar de notófila à mesófila, com o comprimento da folha podendo atingir valores superiores a 5,5 e 14 cm; a largura foliar é de aproximadamente 3,0 a 5,8 cm. Venação mediana bem definida, persistente até a região apical, com largura variando de 0,3 a 0,4 cm, na porção basal, e 0,15 a 0,2 cm, na porção média da folha; formada por feixes de veias paralelas, cerca de cinco feixes, na porção média, reduzindo-se em direção ao ápice; os feixes apresentam-se, por vezes, interconectados através de veias obliquamente dispostas ao longo da venação mediana. As veias secundárias derivam-se da venação mediana em ângulos agudos, em torno de 13° a 20° (= ângulos de emergência), e após percorrerem 1/3 do seu curso até a margem, curvam-se suavemente, formando arcos, em direção as margens foliares, onde as atingem em ângulos que variam de 51° a 60° (= ângulos de divergência). A densidade da venação é uniforme ao longo da lâmina foliar, variando de 30 a 36 veias/cm, tanto na porção próxima à venação mediana quanto na porção próxima à margem do limbo. A venação secundária apresenta retículos muito alongados e estreitos por toda a lâmina, porém levemente mais largos quando próximos à venação mediana, formando, entre a venação medi-

ana e a margem, uma malha uniforme do começo ao fim; os retículos são oblongo-poligonais. Ao longo de toda lâmina, além das dicotomias, são comuns veias de conexão transversalmente dispostas entre as veias secundárias que correm paralelamente em direção à margem (= conexões do tipo transversal).

**Discussão:** Por possuírem uma venação mediana nítida e persistente até a região apical, e formada por um feixe compacto de veias diferenciadas, os espécimes estudados são atribuíveis às formas classificadas em *Glossopteris* (Brongniart, 1828; Schimper, 1869; Feistmantel, 1876; Feistmantel, 1881; Arber, 1905; Pant & Gupta, 1968; Kovács-Endrödy, 1976; Chandra & Surange, 1979; Srivastava, 1991; Chandra & Singh, 1992). Em nível específico, são comparados a *Glossopteris communis* Feistmantel, *G. indica* Schimper (conforme Kovács-Endrödy, 1976; Chandra & Surange, 1979; Chandra & Singh, 1992) e *G. occidentalis* White emend. Tybusch & Iannuzzi 2010 (Tybusch & Iannuzzi, 2010), quanto ao padrão de venação, no que se refere à elevada densidade de venação e ao tipo de malha formado entre a venação mediana e a margem foliar.

Contudo, os espécimes distinguem-se de *G. occidentalis* por possuírem venação secundária com os ângulos de emergência das veias mais agudos, veias secundárias que após percorrerem 1/3 do seu curso até a margem, curvam-se suavemente formando arcos em direção as margens foliares, atingindo-as com ângulos que variam de 51° a 60°, e pela menor densidade de venação como um todo.

A comparação com *Glossopteris communis* e *G. indica* deve levar em consideração o fato de que esses táxons já foram considerados por diversos autores como sendo apenas variedades de uma mesma espécie (Zeiller, 1896; Arber, 1905; White, 1908; Teixeira, 1947; Bernardes-de-Oliveira, 1977). Contudo, através de estudos cuticulares, Srivastava (1956) mostrou que as duas espécies possuíam caracteres epidérmicos distintos, sendo perfeitamente separáveis. Também, segundo este autor, ambas se distinguem por suas frutificações, enquanto espécimes de *G. indica* na África do Sul foram encontrados em conexão com frutificações do tipo *Scutum* (Plumstead, 1962), os de *G. communis* estariam associadas as do tipo *Lidgettonia* (Thomas, 1958).

White (1965) reconheceu tratar-se de duas espécies distintas, tendo em vista cutículas e frutificações, mas postulou que morfograficamente, ou seja, em se tratando de folhas estéreis preservadas apenas como impressões, elas corresponderiam a duas formas inseparáveis as quais apresentariam, inclusive, toda uma série de formas de transição

entre uma e outra espécie. Enfatizando *G. indica* como uma morfoespécie que pode agrupar várias espécies verdadeiras, o autor propôs que apenas essa espécie fosse mantida como válida quando ausentes os seus demais caracteres cuticulares e/ou reprodutivos (= frutificações).

Entretanto, segundo os critérios de Plumstead (1962), Rigby (1966) e Bernardes-de-Oliveira (1977), as formas de *G. communis* distinguem-se, morfograficamente daquelas de *G. indica*, respectivamente, a partir dos seguintes caracteres: a) *G. indica* – folhas geralmente estreitas, de margens paralelas e ápices agudos; malhas triangulares, mais curtas e mais largas junto à venação mediana do que em direção às margens; venação secundária com percurso quase reto e oblíquo após um ângulo de emergência agudo; densidade de venação menor; b) *G. communis* – folhas geralmente largas, de margens que se curvam quase continuamente e ápice menos agudo, tendendo a obtuso; malhas retangulares, mais longas e estreitas, tanto na reticulação das veias secundárias adjacentes à venação mediana, quanto na próxima às margens; a venação secundária tem um percurso em uma curva suave e contínua, convexo para o ápice, após um ângulo de emergência agudo.

Em vista disto, os nove espécimes aqui analisados são referidos como *G. communis* por serem muito mais similares àqueles originalmente descritos por Feistmantel (1876) para erigir esta espécie.

*Glossopteris* cf. *G. indica* Schimper 1869

Figura 3B

**Material descrito:** GP/3T 2445B.

**Descrição:** O espécime representa uma folha simples e estreita, apenas com a porção apical preservada, margens inteiras; ápice agudo. O comprimento da folha pode atingir valores superiores a 4,2 cm; a largura foliar é de aproximadamente 2,1 cm. Venação mediana bem definida, persistente até a região apical, onde apresenta largura de 0,05 cm; formada por feixes de veias paralelas, cerca de dois feixes na porção apical. As veias secundárias derivam-se da venação mediana em ângulos bastante agudos, em torno de 11° a 19° (= ângulos de emergência), após apresentam um percurso quase reto e oblíquo, atingindo a margem foliar com ângulos que variam de 45° a 50° (= ângulos de divergência). A densidade da venação é uniforme ao longo da lâmina foliar, variando de 25 a 28 veias/cm, tanto próximo à venação mediana quanto à margem do limbo. A venação secundária é composta de retículos poligonais alongados, mais largos junto à venação mediana do que em direção à margem. Ao longo de toda lâmina,

além das dicotomias, são comuns veias de conexão transversalmente dispostas entre as veias secundárias que correm paralelamente em direção à margem (= conexões transversais).

**Discussão:** O espécime analisado, por apresentar venação mediana nítida e persistente até a região apical da folha, deve ser incluído no gênero *Glossopteris* (Brongniart, 1828; Schimper, 1869; Feistmantel, 1876; Feistmantel, 1881; Arber, 1905; Pant & Gupta, 1968; Kovács-Endrödy, 1976; Chandra & Surange, 1979; Srivastava, 1991; Chandra & Singh, 1992). Em termos de designação específica, o espécime compara-se a *Glossopteris communis* Feistmantel e *G. indica* Schimper (conforme Kovács-Endrödy, 1976; Chandra & Surange, 1979; Chandra & Singh, 1992), quanto ao padrão de venação, em termos da densidade de venação elevada e quanto ao tipo de malha poligonal alongado, formado entre a venação mediana e a margem foliar.

Como já visto na discussão sobre as formas aqui classificadas em *Glossopteris communis*, apesar de *G. communis* e *G. indica* terem sido consideradas por diversos autores como sendo variedades de uma mesma espécie (Zeiller, 1896; Arber, 1905; White, 1908; Teixeira, 1947) é possível distinguir as folhas de uma espécie da outra a partir de critérios morfográficos estipulados por Plumstead (1962), Rigby (1966) e Bernardes-de-Oliveira (1977).

Com base nestes critérios, o espécime analisado diferencia-se de *G. communis* por apresentar margens inteiras, ápice agudo, malhas menos alongadas, venação secundária com percurso quase reto e oblíquo após um ângulo de emergência agudo e densidade de venação menor. Tais características aproximam o presente espécime das formas incluídas na espécie *G. indica*. Contudo, em se tratando de apenas um fragmento apical que não fornece maiores evidências sobre a forma da folha completa ou o aspecto exato das malhas da venação secundária no restante da lâmina, optou-se por identificar o espécime apenas como *Glossopteris* cf. *G. indica*.

*Glossopteris occidentalis* White 1908 emend.

Tybusch & Iannuzzi 2010

Figura 3E

**Material descrito:** GP/3T 2442.

**Descrição:** O espécime estudado representa uma folha simples, praticamente inteira, de margem inteira, com base e ápice ausentes. Mesmo não estando completa, a folha pode ser considerada como mesófila, as margens laterais paralelas observadas no espécime sugerem um limbo oblongo; o comprimento da folha pode atingir valor superior a



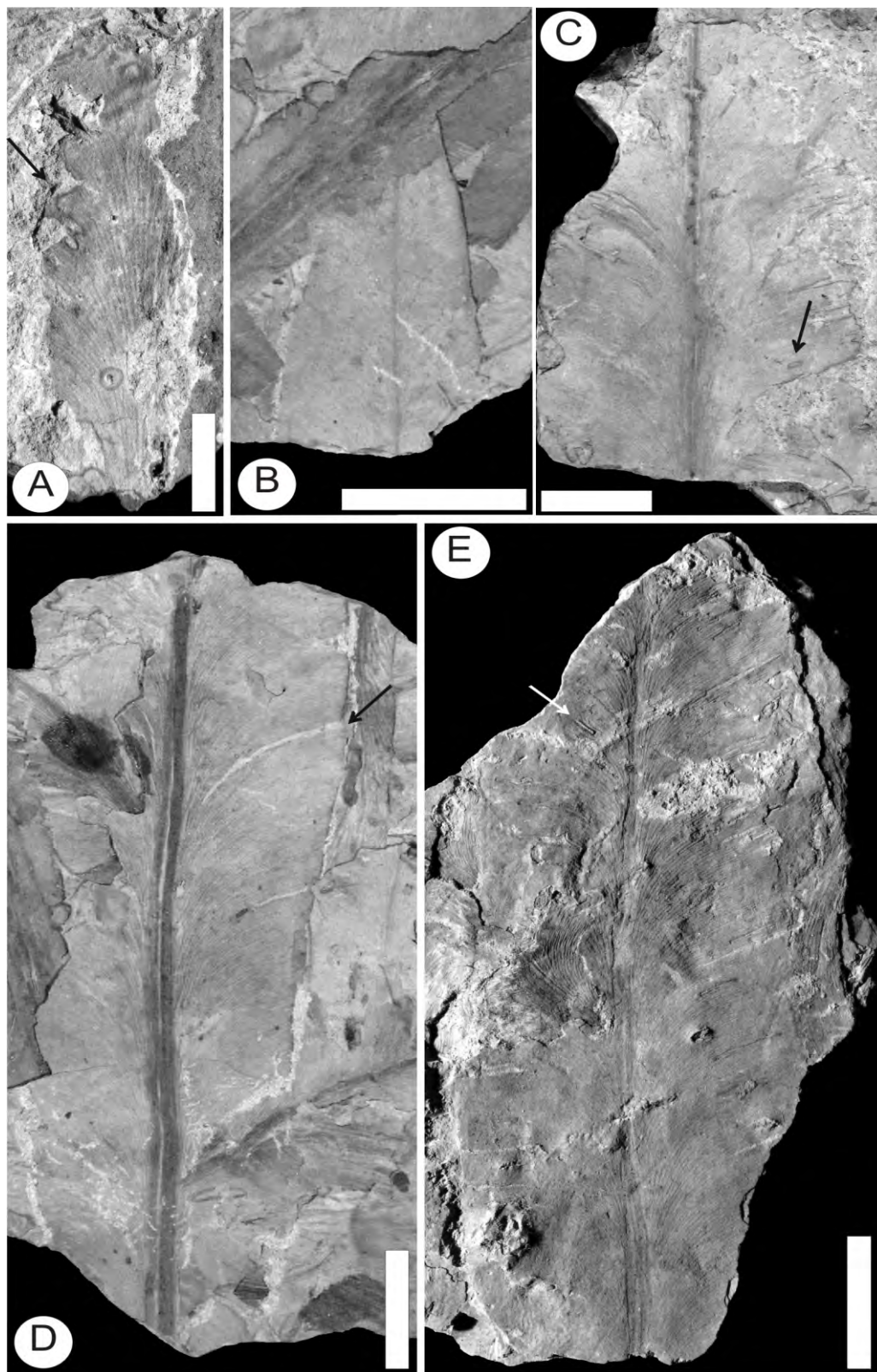


Figura 3. Ilustrações das espécies descritas. A) *Gangamopteris obovata* (Carr.) White 1908 (espécime GP/3T 2450, com destaque à forma do limbo e o padrão de venação; danos marginais causados por artrópodes indicados pela flecha). B) *Glossopteris* cf. *G. indica* Schimper 1869-1870 (espécime GP/3T 2445 B, destacando o ápice e o padrão de venação). C e D) *Glossopteris communis* Feistmantel 1879 (C: espécime GP/3T 2447, ressaltando a região médio-apical e o padrão de venação; danos marginais causados por artrópodes indicados por flecha; D: espécime GP/3T 2445 A, mostrando a forma oblonga do limbo e o padrão de venação; danos marginais causados por artrópodes indicados por flecha). E) *Glossopteris occidentalis* White emend. Tybusch & Iannuzzi 2010 (espécime GP/3T 2442, ressaltando limbo aparentemente oblongo com alguns rasgos quase perpendiculares à venação mediana e típico padrão de venação taeniopteróide; danos causados por artrópodes indicados por flecha). Escalas: A = 1 cm; B-E = 2 cm.



13 cm, a largura foliar é de aproximadamente 4,4 cm. A lâmina apresenta alguns rasgos perpendiculares à venação mediana que acompanham o percurso das veias secundárias, semelhante ao padrão encontrado em folhas da bananeira atual (*Musa* spp.). Venação mediana bem definida, com largura variando de 0,2 a 0,3 cm na porção média da folha, formada por um feixe de veias paralelas, cerca de 4 a 6 veias, na porção média, reduzindo-se em direção ao ápice; as veias centrais apresentam-se, por vezes, interconectadas através de veias obliquamente dispostas ao longo da venação mediana. As veias secundárias derivam-se da venação mediana em ângulos agudos, em torno de 25° a 30° (= ângulos de emergência), e, logo em seguida, curvam-se abruptamente, seguindo de forma paralelamente retilínea e em ângulo quase reto em direção as margens foliares, estabelecendo assim um padrão taeniopteróide; próximo às margens da folha, as veias secundárias curvam-se suavemente para cima atingindo-as com ângulos que variam de 70° a 72° (= ângulos de divergência). A densidade da venação é uniforme ao longo da lâmina foliar, variando de 36 a 39 veias/cm, tanto na porção mediana quanto na distal do limbo. A venação secundária apresenta retículos muito estreitos, alongados, formando, entre a venação mediana e a margem, uma malha uniforme do começo ao fim; na região proximal à venação mediana, os retículos são oblongo-polygonais, levemente mais largos, diminuindo de tamanho quando bem próximos à venação mediana, enquanto que na região médio-distal, os retículos variam de linear-oblongos, trapezóides a polygonais; a densidade de retículos diminui nas proximidades da margem da folha. Ao longo de toda lâmina, além das dicotomias, são comuns veias de conexão transversalmente dispostas entre as veias secundárias que correm paralelamente em direção à margem (= conexões do tipo transversal).

**Discussão:** O padrão de venação do espécime analisado lembra os de *Glossopteris occidentalis*, *G. gigas* Pant & Singh 1971 (in Chandra & Surange, 1979; Chandra & Singh, 1992), *G. communis*, *G. damudica* Feistmantel 1881 e *G. indica*, no que se refere à densidade de venação elevada e a malha formada de retículos muito estreitos, alongados, linear-oblongos, trapezóides a polygonais que ocorre entre a venação mediana e a margem foliar. Assemelha-se também a *G. taeniopteroides* Feistmantel 1878 (in Maheshwari, 1965; Kovács-Endrödy, 1976), *G. waginanus* Rigby 1966 (in Rigby et al., 1988) e *G. ampla* Dana 1849 (in Archangelsky, 1958; Rigby, 1966; Kovács-Endrödy, 1976) pelo tipo de malha formado por retículos levemente mais largos próximo a venação mediana, tornando-

se muito estreitos e alongados na região mediana e distal da lâmina, apresentando formas oblongas, trapezóides a polygonais.

Contudo, o espécime distingue-se de *G. communis* e *G. gigas* por formar malhas mais uniformes ao longo de toda lâmina foliar, com retículos apenas um pouco mais largos junto à venação mediana, pela densidade de retículos que diminui nas proximidades da margem da folha e, ainda, por possuir venação secundária com os ângulos de emergência das veias menos agudos, maior densidade de venação e pelo formato oblongo do limbo. Difere ainda de *G. damudica* por apresentar margem lisa, forma aparentemente oblonga e por sua venação secundária que emerge em ângulos menos obtusos. Por sua vez, difere de *G. indica*, pela forma oblonga, pelos ângulos de emergência das veias secundárias serem menos agudos do que os registrados em *G. indica* e pelo padrão taeniopteróide formado pelas veias secundárias. Distingue-se também de *G. taeniopteroides*, *G. waginanus* e *G. ampla* por apresentar venação mediana persistente até o ápice, pela densidade de venação mais elevada e forma oblonga do limbo.

Por outro lado, o espécime estudado é bastante similar à *G. occidentalis* por apresentar folha de formato oblongo, venação mediana formada por vários feixes medianos, nítida e persistente até o ápice, pelos ângulos de divergência e convergência observados e por exibir padrão de venação do tipo taeniopteróide, com frequentes rasgos perpendiculares à venação mediana na lâmina foliar. Sendo assim, tais semelhanças justificam a classificação do espécime dentro desta espécie, apesar de corresponder a uma folha incompleta.

#### 4. Considerações finais

A flora de Rio da Estiva foi inicialmente caracterizada por Rösler (1975) pela ocorrência de uma enorme quantidade de sementes, pela presença de frutificações e caules e, principalmente, pela abundância de folhas grandes de *Glossopteris*. No entanto, o autor não identificou as folhas de glossopterídeas em nível específico, fazendo apenas um relato preliminar dessas formas. No presente estudo os espécimes colecionados por aquele autor foram classificados em três morfoespécies distintas: *Glossopteris communis* Feistmantel, *Glossopteris* cf. *G. indica* Schimper e *G. occidentalis* White emend. Tybusch & Iannuzzi. A espécie mais numerosa da coleção, sem dúvida, foi *Glossopteris communis*, correspondendo a nove dos 12 espécimes analisados.

Além disto, registrou-se aqui pela primeira

vez, para o afloramento de Rio da Estiva, a presença de impressões foliares que se enquadraram no morfôgenero *Gangamopteris*, por apresentarem ausência de uma venação mediana diferenciada e anastomoses ao longo de toda a lâmina foliar. Foi encontrado apenas um exemplar deste gênero, incluído na morfoespécie *Gangamopteris obovata* (Carr.) White 1908. A introdução deste novo elemento contribuiu para aumentar a diversidade da associação originalmente denominada por Rösler (1975) como “Tafoflora de Rio da Estiva”, no estado de Santa Catarina. Entretanto, uma análise preliminar permitiu a Bernardes-de-Oliveira *et al.* (2000) acrescentarem a esta lista a presença de frutificações de glossopterídeas do tipo *Ottokaria* e sementes do tipo *Cordaicarpus*, as quais serão objeto de estudos futuros.

A classificação em nível específico das folhas de glossopterídeas provenientes da tafoflora de Rio da Estiva tinha como objetivo possibilitar uma correlação entre esta localidade fossilífera e outras encontradas nos depósitos eopermianos das porções norte e sul da Bacia do Paraná, ou mesmo com as floras de outras bacias gondwânicas, a partir das comparações megaflorísticas. No entanto, as espécies de glossopterídeas confirmadas até o momento na flora de Rio da Estiva, i.e. *Gangamopteris obovata*, *Glossopteris communis* e *G. occidentalis*, são espécies de ampla distribuição estratigráfica e geográfica, estendendo-se desde o topo do Grupo Itararé, nos estados do Rio Grande do Sul e *Gangamopteris obovata* em São Paulo, até o topo da Formação Rio Bonito, em Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Rösler, 1978; Bernardes-de-Oliveira, 1977, 1980; Tybusch & Iannuzzi, 2008, 2010; Iannuzzi *et al.*, 2007, 2010). A espécie *G. indica*, que não está totalmente confirmada como um elemento desta flora (representada pela forma assinalada como *Glossopteris cf. G. indica*), tem uma distribuição vertical mais restrita, estando, pelo que se sabe, presente nas porções médio-superiores da Formação Rio Bonito, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Bernardes-de-Oliveira, 1977, 1980; Iannuzzi *et al.*, 2007, 2010).

Entretanto, por ser uma espécie rara e de determinação difícil e duvidosa (uma vez que se confunde facilmente com *G. communis*), sua distribuição atual não pode ser considerada totalmente confiável. Por fim, sementes do tipo *Cordaicarpus* são extremamente comuns em sedimentos que vão do topo do Grupo Itararé ao topo da Formação Rio Bonito (Souza & Iannuzzi, 2009), enquanto frutificações do tipo *Ottokaria* estão restritas à Formação Rio Bonito (Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2000). Infelizmente, nenhum dos táxons assinalados per-

mitiu um refinamento maior no posicionamento do afloramento, além daquele já proposto inicialmente por Rösler (1975). Por outro lado, todos estes são táxons comumente encontrados em depósitos eopermianos de outras áreas gondwânicas (Iannuzzi & Souza, 2005; Iannuzzi, 2010). Bioestratigraficamente, a “Tafoflora de Rio da Estiva” foi considerada como pertencente à “Tafoflora B” (Rösler, 1978; Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2000) que equivale, em parte, à “Flora *Glossopteris-Brasilodendron*” de Iannuzzi & Souza (2005), ambas unidades informais propostas para na Bacia do Paraná.

Por fim, constatou-se que todas as folhas analisadas apresentam em seu limbo foliar evidências nítidas de interações inseto-planta do tipo herbivoria, conforme estudo ainda inédito de Pinheiro *et al.* (2012).

**Agradecimentos** - Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através de bolsas (processos 130053/2005-8 a GPT, Pq309322/2007-3 e PQ305687/2010-7 a RI), fundamental para a realização deste trabalho; a Eduardo Premaor (PPGGeo-UFRGS) pela ilustração do mapa e perfil, a Luiz Flávio Lopes (DPE-IG-UFRGS) pela produção do material fotográfico e ao IGc/USP pela cessão do material para o estudo. Este trabalho é uma contribuição do Centro de Investigação do Gondwana (CIGO) aos projetos financiados pelo CNPq (processos 474153/2004-5, 483463/2007-8) e faz parte da tese de doutoramento da primeira autora.

## Referências

- Arber, E.A.N. 1905. *Catalogue of the fossil plants of the Glossopteris flora*. Department of Geology, British Museum, London, 295 p.
- Archangelsky, S. 1958. Estudio geológico y paleontológico del Bajo de la Leona (Santa Cruz). *Acta Geologica Lilloana*, 2: 5-133.
- Ash, A., Ellis, B., Hickey, L.J., Johnson, K., Wilf, P. & Wing, S. 1999. *Manual of leaf architecture: morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms*. Washington, Leaf Architecture Working Group of Smithsonian Institution, 65 p. <http://www.peabody.yale.edu/collections/pb/MLA.pdf>
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1977. *Tafoflora Eogondwânica da camada Irapuá, Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão), SC*. São Paulo, 301 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1980. *Tafoflora Eogondwânica da Formação Rio Bonito (Camada Irapuá), Bacia do Paraná, Brasil*. 2 CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA / I CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGÍA, 1980, Buenos Aires. *Acta II...*, Buenos Aires, v.6, p. 69-88.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Ricardi-Branco, F. & Rösler, O. 2000. As estruturas reprodutivas de glossopter-

- rídeas na sucessão das taflooras permianas na Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Universidade de Guarulhos, Geociências*, 5(nº especial): 62-68.
- Bortoluzzi, C.A., Piccoli, A.E.M., Bossi, G.E., Guerra-Sommer, M., Toigo, M.M., Pons, M.E.H., Wolf, M. & Silva, Z.C.C. 1978. Pesquisa geológica na Bacia Carbonífera de Santa Catarina. *Pesquisas*, 11: 33-192.
- Brongniart, A. 1828. *Histoire des végétaux fossiles ou recherches botaniques et géologiques sur les végétaux renfermés dans les diverses couches du globe*. Paris, G. Dufour & Ed. D'Ocagne, 223 p.
- Chandra, S. & Surange, K.R. 1979. *Revision of the Indian species of Glossopteris*. India, 301 p. Monografia n. 2, Birbal Sahni Institute of Palaeobotany.
- Chandra, S. & Singh, K.J. 1992. The genus *Glossopteris* from the Late Permian beds of Handapa, Orissa, India. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 75: 183-218.
- Feistmantel, O. 1876. Note on the age of some fossil floras of India. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica*, 9: 28-42.
- Feistmantel, O. 1879. The Fossil Flora of the Lower Gondwana-1. The flora of Talchir-Karharbari beds. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica, series 12*, 3(1): 1-49.
- Feistmantel, O. 1881. The fossil flora of the Gondwana System. 1 (Suppl.). The flora of the Talchir-Karharbari Beds. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica, Series 12*, 3:49-64.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Ketzer, J.M.M. & Formoso, M.L.L. 2008. Radiometric age determination of tonsteins and stratigraphic constrains for the Lower Permian coal succession in southern Paraná Basin, Brazil. *International Journal of Coal Geology*, 74: 13-27.
- Iannuzzi, R., 2010. The flora of Early Permian coal measures from the Paraná Basin in Brazil: A review. *International Journal of Coal Geology*, 83: 229-247.
- Iannuzzi, R. & Souza, P.A. 2005. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-date overview. In: Lucas, S.G. & Zigler, K.E. (Eds.). *The Nonmarine Permian*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 30, p. 144-149.
- Iannuzzi, R., Souza, P.A., Scherer, C.M.S. & Holz, M. 2007. Plantas fósseis na bioestratigrafia dos depósitos permianos do Rio Grande do Sul. In: Iannuzzi R. & Frantz J.C. (eds.) *50 Anos de Geologia*. Porto Alegre, Instituto de Geociências, p. 265-281.
- Iannuzzi, R., Souza, P.A. & Holz, M. 2010. Stratigraphic and paleofloristic record of the Lower Permian postglacial succession in the southern Brazilian Paraná Basin. In: López-Gamundí, O.R. & Buatois, L.A. (eds.) *Late Paleozoic Glacial Events and Postglacial Transgressions in Gondwana*. Geological Society of America Special Papers, 2010, 468, p. 113-132
- Kovács-Endrödy, É. 1976. Notes on some *Glossopteris* species from Hammanskraal (Transvaal). *Palaeontologia Africana*, 19: 67-95.
- Maheshwari, H.K. 1965. Studies in the *Glossopteris* Flora of India – 22. On some species of the genus *Glossopteris* from the Raniganj Stage of the Raniganj Coalfield, Bengal. *The Paleobotanist*, 13(3): 129-143.
- Maithy, P. K. 1965. Studies in the *Glossopteris* Flora of India. 26 – *Glossopteridales* from the Karharbar Beds, Giridih Coalfield, India. *The Palaeobotanist*, 13(3): 248-268.
- Maithy, P.K. 1998. Morphotaxonomic re-evaluation of *Gangamopteris(?) buriadica* Feistmantel. *Journal of the Palaeontological Society of India*, 43:85-88.
- McCoy, F. 1860. A Commentary on "A Communication made by the Rev. W.B. Clarke to His Excellency Sir Henry Barkly, K.C.B., &c., &c., President of the Royal Society of Victoria, on Professor McCoy's new *Taeniopteris*, &c., &c., *Transactions of the Royal Society of Victoria*, 5: 96-107.
- Medeiros, R.A.; Thomaz Filho, A. 1973. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Rio Bonito. XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1973, Aracaju. *Anais*, v.1. Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, p.3-12.
- Millan, J.H. 1989. Sobre a presença de formas foliares mais primitivas de glossopterídeas (gênero *Gangamopteris* no Município de Cerquilho, carvão do Eogondwana do Estado de São Paulo). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 61(2): 201-213.
- Pant, D.D. & Gupta, K.L. 1968. Cuticular structure of some Indian Lower Gondwana species of *Glossopteris*. *Palaeontographica*, 124(1-3): 45-81.
- Pinheiro, E.R.S., Tybusch, G.P., Iannuzzi, R. 2012. New evidence of plant-insect interactions in the Lower Permian from Western Gondwana. *The Palaeobotanist*, 61: 67-74.
- Plumstead, E.P. 1962. Fossil floras of Antarctica. *Trans-Antarctic Expedition*, Scientific Reports, 9: 7-153.
- Rigby, J.F. 1966. The Lower Gondwana floras of the Perth and Collie basins, western Australia. *Palaeontographica*, 4-6(118): 113-152.
- Rigby, J.F., Chandra, S. & Surange, K.R. 1988. *Glossopterid* plant remains in the Permian of western Australia. *Memoir Association Australasian Palaeontologists*, 5: 73-78.
- Rohn, R., Babinski, M.E.C.B. & Rösler, O. 1984. *Glossopteris* da Formação Rio do Rasto no sul do estado do Paraná. XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1984, Rio de Janeiro. *Anais...*, v.2. Rio de Janeiro, p. 1047-1061.
- Rösler, O. 1975. Tafolórulas eogondwânicas do Brasil II: ocorrência de Rio da Estiva (Permiano – Formação Rio Bonito – Santa Catarina). *Boletim do Instituto de Geociências – USP*, 6: 1-11.
- Rösler, O. 1978. The Brazilian eogondwanic floral succession. *Boletim do Instituto de Geociências – USP*, 9: 85-90.
- Schimper, W. 1869-1870. *Traité de Paleontologie Vegetale*. Tomo 1, J.B. Boilliers et fils, Paris, 738p.
- Souza, J.M. & Iannuzzi, R. 2009. The genus *Cordaicarpus* Geinitz in the Lower Permian of the Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 12 (1): 5-16.
- Srivastava, P. N. 1956. Studies in the *Glossopteris* flora of India - 4. *Glossopteris*, *Gangamopteris* and *Palaeovittaria* from the Raniganj coalfield. *The Palaeobotanist*, 5(1): 1-45.

- Srivastava, A.K. 1991. Evolutionary tendency in the venation pattern of Glossopteridales. *Geobios*, 4(24): 383-386.
- Stewart, W.N. & Rothwell, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. Cambridge, Ed. Cambridge University Press, 521p.
- Surange, K.R. & Lele, K.M. 1955. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 3. Plant fossils from the Talchir Needle Shales from Giridih coalfield. *The Palaeobotanist*, 4: 153-157.
- Surange, K.R. & Srivastava, P.N. 1956. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 5. Generic status of *Glossopteris*, *Gangamopteris* and *Palaeovittaria*. *The Palaeobotanist*, 5(1): 46-49.
- Teixeira, C. 1947. Contribuição para o conhecimento Geológico do Karoo da África Portuguesa. 1- Sobre a Flora Fossil do Karoo da Região de Tete (Moçambique). *Anais da Junta de Investigações Coloniais*, 2(2): 7-28.
- Thomas, H. H. 1958. *Lidgettonia*, a new type of fertile *Glossopteris*. *British Museum (Natural History) Bulletin, Geology*, 3(5): 179-189.
- Tybusch, G.P., Iannuzzi, R. 2008. Reavaliação taxonômica dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11(2): 73-86.
- Tybusch, G.P., Iannuzzi, R. 2010. *Glossopteris occidentalis* White emended: geographic and biostratigraphic implications. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 13(1): 33-40.
- White, D. 1908. Fossil Flora of the Coal Measures of Brazil. In: White I.C., *Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil*, Relatório Final, p. 558-568.
- White, D. A. 1965. *The geology of the Georgetown/Clarke River area*. *Queensland Bureau Resources, Geological Bulletin*, v.71, 152p.
- Zeiller, R. 1896. Etude sur quelques plantes fossiles, en particulier *Vertebraria* et *Glossopteris*, des environs de Johannesburg (Transvaal), *Bulletin de la Societe Geologique de France (Ser.3)*, 24: 349-378.



## Capítulo 5

“Reevaluation of glossopterids from Cambaí Grande Outcrop, RS (Lower Permian of Paraná Basin). Graciela Pereira TYBUSCH, Roberto IANNUZZI , Mary Elizabeth Cerruti BERNARDES DE OLIVEIRA & Ricardo da Cunha LOPES. IN: *Second Indo-Brazilian Symposium on Glimpses of Gondwana Research, Revista Geologia USP*, submetido.



**REAVALIAÇÃO DAS GLOSSOPTERÍDEAS DO AFLORAMENTO CAMBAÍ GRANDE,  
RS (PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ)**

**REVALUATION OF THE GLOSSOPTERIDS FROM CAMBAÍ GRANDE OUTCROP, RS  
(LOWER PERMIAN OF PARANÁ BASIN)**

Título curto: REAVALIAÇÃO DAS GLOSSOPTERÍDEAS DE CAMBAÍ GRANDE, RS

Shorten Title: REVALUATION OF THE GLOSSOPTERIDS FROM CAMBAÍ GRANDE, RS

GRACIELA PEREIRA TYBUSCH<sup>1</sup>, ROBERTO IANNUZZI<sup>1</sup>, MARY ELIZABETH CERRUTI  
BERNARDES- DE -OLIVEIRA<sup>2</sup>, RICARDO DA CUNHA LOPES<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil. [gracielatybusch@yahoo.com.br](mailto:gracielatybusch@yahoo.com.br); [roberto.iannuzzi@ufrgs.br](mailto:roberto.iannuzzi@ufrgs.br) - Phone Number: 55 51 97083994.

<sup>2</sup> Centro de Pós-graduação e Pesquisa (CEPP), Guarulhos University, Praça Tereza Cristina, nº1 – Guarulhos, SP, -07023-070 - Brazil and Geochemistry and Geotechnic Prograduation Program of the Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago 562 CEP 05508-080, São Paulo, SP – Brazil. e-mail:[maryeliz@usp.br](mailto:maryeliz@usp.br) - Phone Number: 55 11 3091.4118 – 3091.4665.

<sup>3</sup> Universidade do Vale dos Sinos (UNISINOS), Av. Unisinos, 950, 93.022-000, São Leopoldo, RS, Brasil. [ricardol.voy@terra.com.br](mailto:ricardol.voy@terra.com.br).

Número de palavras: 6.102

Total de figuras: 5

Total de tabelas: 1

**RESUMO:** O Afloramento Cambaí Grande está localizado no Município de São Gabriel, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, sendo conhecido pela ocorrência de uma associação ímpar, composta de conchas de pelecípodes marinhos associados a restos vegetais de alguns elementos da “Flora *Glossopteris*”. O presente trabalho teve como principal objetivo uma reavaliação da paleoflora de Cambaí Grande, bem como uma reanálise do posicionamento estratigráfico do afloramento. Para tanto, foi realizada uma revisão do material paleobotânico existente em coleções e uma redescrição da seção aflorante. A seqüência aflorante está dividida em duas seções bem definidas (uma inferior e outra superior), sendo que os megafósseis vegetais estudados encontram-se na parte basal da seção superior. Diferentemente do que se encontra estabelecido na literatura, as correlações com sondagens indicaram que o Afloramento Cambaí Grande posiciona-se estratigraficamente no intervalo correspondente à porção médio-superior da Formação Rio Bonito e não na porção superior do Grupo Itararé. Além disso, o conteúdo paleobotânico levantado por diversos autores compreendia, até o presente trabalho, a presença dos gêneros *Gangamopteris*, *Samaropsis*, *Cordaicarpus* e *Cordaites*, afora restos não identificados atribuídos a algas e a um cone de gimnosperma. Este estudo, no entanto, confirmou a presença do primeiro registro de folhas do tipo *Glossopteris* na paleoflora de Cambaí Grande, além da ocorrência, pela primeira vez, da espécie indiana *Gangamopteris cyclopteroides* Feismantel, o que aumenta a possibilidade de correlação desta associação com as das paleofloras mais jovens, pertencentes à Formação Rio Bonito, e com aquelas dos estágios florísticos indianos.

**Palavras-chave:** *Glossopteris*, *Gangamopteris*, Cambaí Grande, Formação Rio Bonito, Permiano Inferior, Rio Grande do Sul.

**ABSTRACT:** The Cambaí Grande Outcrop is located in the municipality of São Gabriel, state of Rio Grande do Sul, southernmost Brazil, being known by the occurrence of an exclusive fossil assemblage composed marine invertebrates shells associated to the plant remains of some elements belonging to the " *Glossopteris* Flora " preserved side by side. This work had as main goal of a reevaluation of named “Cambaí Grande Flora” as well as a section re-analysis. Thus, the authors performed a review of the existing material in the paleobotanical collections deposited at Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) and Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) and even a re-description of the outcrop section. The outcropping sequence comprises some 60m thick and is divided into two well defined sections (both upper and lower). The studied plants were found in the basal part of the upper section. Beyond this, the paleobotanical content previously rose by several authors understood until this present study, the presence of *Gangamopteris*, *Samaropsis*, *Cordaicarpus* and *Cordaites* genera, and remains unidentified, such as algae axes and a cone of gymnosperm. However, this study confirmed, for the first time, the presence of *Glossopteris*-type leaves in the Cambaí Grande flora which a possibility of a correlation of this plant assemblage with other younger floras belonging to the Rio Bonito Formation is increased as those from the floristic Indian stages.

**Keywords:** *Glossopteris*, *Gangamopteris*, Cambaí Grande, Rio Bonito Formation, Lower Permian, State of Rio Grande do Sul.



## INTRODUCTION

The Cambaí Grande Outcrop is located in the municipality of São Gabriel, State of Rio Grande do Sul, southernmost Brazil, being known by the occurrence of an exclusive fossil assemblage composed marine invertebrates shells associated to the plant remains of some elements belonging to the " *Glossopteris Flora* " preserved side by side (Figure 1).

In this outcrop, Martins and Sena Sobrinho (1950) registered the existence of *Orbiculoidea maricaensis*, *Lingula budoensis* and pelecípodes shells, attributed to the genus *Aviculopecten* McCoy. Later, the pelicipode fossils found in this outcrop were studied by Martins (1951) who nominated as *Aviculopecten cambahyensis*, comparing with the ones from Taió, Santa Catarina, studied by Cowper Reed (1930).

Regarding the plant remains, Zingano Cauduro (1959), Loczy (1964), Barcellos (1973), Pinto and Purper (1974), Dohms (1977) and Correa da Silva (1978) cited only (not identifying, describing or illustrating ) the occurrence of *Phyllothea*, *Gangamopteris* and *Glossopteris* remains, referring to the paleofloristic records made to this outcrop by Pinto (1955).

Klepzig-Cazzulo et al. (1980a) discussed the contents of several paleofloristic outcrops considered as being from the Itararé Group, in Rio Grande do Sul, and showed a palaeobotanical records, modified Correa de Silva (1978), which included as content for the Cambaí Grande palaeobotanical outcrop: indeterminate algae, *Gangamopteris* sp., *G. obovata*, *G. angustifolia*, *G. buriadica*, *Cordaites* sp., *Cordaicarpus* sp. and a cone of non identified gymnosperm. In this same year, Cazzulo-Klepzig et al. (1980b) critically reviewed the Cambaí Grande paleofloristic contents and, broadly, the present composition of the paleofloristic association as being composed by *Gangamopteris* (55%), *Samaropsis* (18%), *Cordaites* (16%), unidentified algae (10%) and fructifications (1%). The *Gangamopteris angustifolia*, *G. buriadica* and *G. obovata*, beyond the assigned forms to the genus *Cordaites* sp. were described. Thus, the authors presented the same plate published already by Cazzulo-Klepzig et al. (1980a). Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig

(1981) and Cazzulo-Klepzig & Guerra-Sommer (1985) also published this plate with no changes about the Cambaí Grande paleofloristic content.

Finally, Tybusch and Iannuzzi (2008), making the taxonomic reevaluation of the forms included in the genera *Gangamopteris* and *Rubidgea*, found in outcrops from Itararé Group and Rio Bonito Formation, in Rio Grande do Sul, considered *Gangamopteris angustifolia sensu* Cazzulo-Klepzig et al. (1980b, est.1, fig.8), described for the Cambaí Grande Outcrop as being, in fact, a form belonging to the new species raised in that work, by the authors, e.g. *Gangamopteris revoluta*. This was the last contribution that addressed elements belonging to the Cambaí Grande paleoflora. It should be noted that the glossopteris leaves are usually among the fossil plants which have their classification and nomenclature less elucidated within an association. This occurs mainly due to its venation pattern, difficult to make a comparison among the morphotypes and the absence of cuticles and fructifications connected to the leaves, in most cases. However, since they are composed of several species of wide geographic and stratigraphic distribution, the glossopterids have been commonly used in biostratigraphy in various sections of the Gondwanan Permian basins (Archaryya, Ghosh and Singh, 1977 Surange and Chandra, 1979; Maheshwari, 1991; Guerra Sommer and Cazzulo Klepzig, 1993) and thus, deserve special attention. Previously placed in the Itararé Group (Correa da Silva, 1978; Cazzulo-Klepzig et al., 1980a, b; Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig, 1993), the Cambaí Grande Outcrop had most recently their lithotypes related to the Rio Bonito Formation (Elias, 2000) based on their correlation with probes for coal researches carried out between 7.5 and 12 km east of its position (Figure 1). So, this study had like its main objective a reevaluation of the glossopterids from Cambaí Grande, as well a review of the stratigraphic position of its outcropping section. Consequently, a review of the paleobotanic collection deposited in Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) and Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) was done, as well the re-description of the outcrop profile.

FIGURE 1

## **GEOLOGY**

The succession of layers in this outcrop consists of approximately 52 m thick along the dirt road, considering the basement of the basin at an elevation of 128 m, down from the hill toward the bridge over the Arroyo Grande Cambaí, and the top of hill, north at elevation 170 m. In the path from the arroyo to the top, the first 12 meters are covert, then surfacing 17.35 m sedimentary rocks (Figure 2) beginning with a layer of arcosean sandstone, very coarse-grained, low sphericity angular grains, and conglomeratic, containing quartz granules and pebbles. Succeeds is 0.70 m of light gray pelitic and 3.60 m covert section, and then emerge 1,85 m heterolithic facies comprising siltstone and lenses and very fine quartzose sandstone lenses. Following is 0.40 m from fine to very fine quartzose sandstone, with siltstone drapes and a lens of 0.15 m quartzose sandstone, very thick to medium, above which emerges 0.80m of sandy siltstone, succeeded by a layer of 0.65 m heterolithic bedding alternating very thin sandstone layers with layers of dark gray siltstone. In this layer samples were collected from the base containing impressions of possible unidentified algae and seeds.

Above the siltstone emerges a set of amalgamated layers, lenticulars elongated, very fine sandstone with a thickness of 0.48 m, succeeding three light gray siltstone layers totalizing 1.27 m, containing overlapping incipient paleosoil levels of which sample of the lower portion of the uppermost layer was collected for a palinologic analysis.

Above arises the gray siltstone layer containing algae and bivalves shell mold impressions consisting of tabular layers amalgamated with 2 to 7 cm thick, massive or laminated plain parallel with 0.45 m of thickness. Then, two more layers of siltstone appear; the first of which was collected pollen test sample with 0.60 m thick, contains plain, and the second with 0.50 m thick parallel lamination and oxidation color from ocher to burgundy red, both similar to the previous siltstone, except for the absence of fossils.

This pelitic package presents an abrupt contact with an upper layer of quartzose sandstone, medium to coarse, partially laterized and 0.55 m thick, which is succeeded by a layer of 1.65 m of a very fine sandstone to massive silty, reddish colors, finishing the analyzed profile by a layer of sandstone medium to thick at 1.65 m thick, quartzose, composed by lenticular layers amalgamated with medium thickness of 8 cm, elongated, solid and wavy top, alternating gray siltstone drapes with a thickness of about 3 cm (Fig. 2).

This same facies analysis has been used by several authors who have studied this outcrop, as one of the arguments to place this section at the top of Itararé Group. However, the stratigraphic analyzes made in this study as well as the correlation with the surveys to the east, indicated that the Cambaí Grande strata outcropping stratigraphically position themselves in the range corresponding to the upper middle portion of the Rio Bonito Formation.

These facies are interpreted as having been generated in shallow marine environment, located near the coast, as indicated by the presence of plant remains, representatives of the terrestrial flora associated to conchiferous organisms, representatives of marine fauna. This deposit would have been formed over a transgressive event, possibly corresponding to that noted in the Paraguaçu Member, Rio Bonito unit. In this case, the taxonomic affinity between pelecipodes from Cambaí Grande and those found in the "Taió Fauna", proposed by Martins (1951), corroborates the repositioning of this outcrop along the Rio Bonito Formation and strongly suggests a correlation with the transgressive event that generated the deposits of the Taió region, in Santa Catarina, which are positioned in the Paraguaçu Member.

FIGURE 2

## **MATERIAL AND METHODS**

Thirty one specimens were reviewed, some previously described and figured by Cazzulo-Klepzig et al. (1980a, b) Cazzulo-Klepzig and Guerra-Sommer (1981) and Cazzulo-Klepzig Guerra-Sommer (1985), and other new ones belonging to the Cambaí Grande outcrop. The reviewed specimens in this contribution are preserved only in the impression form, being some composite of parts and counter-parts. The study material took place as from the standard methodology used in Paleobotany for analysis of impressions / compressions (observation through binocular stereo microscope, measurements from pachymeter, ruler and illustrations made with photographic equipment and drawings into lucida camera). To accomplish the specimens' description and comparison, morfographic characteristics such as shape and type of lamina and kinds of leaf base and apex were defined according to the classification adopted by Chandra and Surange (1979).

To obtain the characteristics related to the density of venation, the emergence and the secondary venation divergence angles and the maximum width of the median venation were used the parameters and techniques described by Rohn et al. (1984). Finally, in order to clarify the description of the types of anastomoses present in the venation of the studied leaf specimens three stipulated categories were defined as follows: a) oblique connections: originated as from the bifurcation, at acute angles, of secondary veins surrounding running parallel toward the border, b) cross-connections: originating from transverse veins (subparallel to the median veins or central midrib, or in almost straight angles) that connect neighboring secondary veins running parallel toward the leaf margin, c) "X"-type connections: originated from the meeting or intersection of neighboring secondary veins, running parallel toward the leaf margin (Figure 3).

The analyzed palaeobotanical material is deposited in the Museum of Paleontology (MP) Paleontology and Stratigraphy Department (DPE) of the Geosciences Institute (IGeo) Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), having been cataloged under the symbol MP-Pb, and the

Museum of Paleontology, History of Life and Earth Laboratory (LaViGea), in the Vale do Rio dos Sinos University (UNISINOS), which are cataloged under the symbol UMVT.

The systematic used in this study follows the one established by Stewart and Rothwell (1993). For the purpose of systematizing or even to estimate the approximate size of leaf samples, even those relatively incomplete, the classification was used on the dimensions of megaphylls proposed by Ash et al. (1999).

### FIGURE 3

## PALEONTOLOGIC SYSTEMATIC

**Division:** TRACHEOPHYTA

**Class:** GYMNOSPERMOPSIDA

**Order:** GLOSSOPTERIDALES

**Genus:** *Gangamopteris* McCoy 1847

**Specie-Type:** *Cyclopteris angustifolia* McCoy 1847 (*G. angustifolia* McCoy 1875)

*Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel 1876

Figures 4 C, D, E

*Gangamopteris buriadica* (*auct. non*) Feistmantel 1879. Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980b, Est. I, figs. 2, 5.

*Gangamopteris obovata* (*auct. non*) Maithy 1965. Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1980b, Est. I, fig. 6.

*Gangamopteris obovata* (*auct. non*) Maithy 1965. Tybusch and Iannuzzi, 2008, figs. 6, 7C, 7F.

**Described Material:** MP-Pb 1042, 1043, 2721, 2723 and 3196.

**Description:** The studied material consists of simple leaves of entire margins, microphylls to notophylls, with the apical to medium portions preserved; absence of apex and base, the blade form seems to vary from oblanceolate to oblong; the leaves length varies of more 3.7 cm (MP-Pb 1042) bigger than 7.3 cm (MP-Pb 3196); the leaf width shows values higher 2.1 cm (MP-Pb 1042, 2723) to higher than 3.0 cm (MP-Pb 3196). The middle region is occupied by subparallel veins forming elongated to rectilinear meshes; central veins are sharp until the apical portion of the leaf (top third), which have more diffuse. The lateral veins begin their journey around standing and bowing from the middle region at angles (emergency) of  $18^{\circ}$  to  $20^{\circ}$ , reaching the leaf margins with a sharper curves, in divergence angles ranging from  $45^{\circ}$  to  $54^{\circ}$ . The lateral veins form elongated meshes, rectangular, having a greater density when the next leaf margin (29 veins per centimeter), which bifurcate and anastomose themselves several times through oblique connections, transverse and in "X", thereby forming shorter and narrow meshes.

**Discussion:** the analyzed samples are compared to *Gangamopteris obovata* (Carr.) White (Carruthers, 1869, White, 1908), *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel (Feistmantel, 1879) and *Gangamopteris clarkeana* Feistmantel (in Maithy, 1965), for venation formed by secondary upright veins that anastomose originating elongated and rectangular meshes. However, differ from *G. clarkeana* the shape of oblanceolate to oblong lamina and by the middle region occupied by clear subparallel veins that persist until the apical portion of the leaf, which are more diffuse. The studied specimens still resemble *G. obovata* as to the lamina; however, differ in the median region clearly occupied by straight subparallel veins until the final third of the leaf, which vanish. Finally, shows close resemblance to *G. cyclopteroides* due (i) its size, (ii) the shape of the lamina that varies oblanceolate to oblong, (iii) the median region occupied by subparallel veins forming rectilinear and rectangular elongated meshes, which remain sharp until the apical portion of the leaf, which have more diffuse, and (iv) have lateral veins that curve around upright toward the borders from the middle region [angles (emergency) of  $18^{\circ}$  to  $20^{\circ}$ ], and the approaching of the leaf border bifurcate



and anastomose several times, thereby forming shorter and narrower meshes, reaching the edges with a more pronounced curvature [angles (divergence) ranging from 45° to 54 °].

Thus, the studied specimens corresponding to those classified by Feistmantel (1879) as *G. cyclopteroides*, especially with the smaller leaves, with which effectively keep a specific level identity. The occurrence of the *G. cyclopteroides* species in deposits of the Paraná Basin was initially suggested by Seward (1903), based on synonymy with the material described by Carruthers as *Noeggerathia obovata* (Carruthers, 1869). However, White (1908), transferring the Carruthers, species to the genus *Gangamopteris*, erecting *G. obovata*, considered it as a valid species and named *G. cyclopteroides* to the Brazilian species.

According to White (1908), since the Brazilian form had been published before (Carruthers, 1869), the *obovata* specific epithet would have priority over *cyclopteroides* epithet due to the Indian form (Feistmantel, 1879). Thus, he admitted the similarity between the shapes both continents, but challenged the synonymy between them, as previously proposed by Seward. Later, Dolianiti (1946, 1953) and Barbosa (1951, 1958) returned to mention the presence of *G. cyclopteroides* in the basin, but without describing or illustrating the specimens that could be attributed to this species. Subsequently, Dolianiti (1954a and b), identifying the new forms of relating to the genus *Gangamopteris* (i.e. *G. angustifolia*, *G. buriadica*, *G. buriadica* var. *acrodeltoidis* and *G. obovata* var. *major*), included in *G. obovata* all forms previously considered by him as belonging to the Indian species *G. cyclopteroides*, by accepting the synonymy suggested by White (1908). Therefore, *G. cyclopteroides* disappeared from lists of valid species to lower Permian of the basin which was subsequently published by various authors (Rigby, 1970; Rosler, 1978; Bernardes-de-Oliveira, 1980). However, according to the comparisons made in this study (see above), the present authors consider both *G. obovata*, and *G. cyclopteroides*, as distinct species and therefore valid. They would be distinguished mainly by the absence (in Brazilian species) or presence (in the Indian species) of straight sharp subparallel veins at the middle region of the lamina very clear from the base to the

final third of the leaf. As a result, this is the first study which confirms in a more convincing way, the presence of *G. cyclopteroides* in the Paraná Basin as from the detailed description and illustration of the analyzed specimens.

*Gangamopteris* aff. *G. mosesi* Dolianiti 1954

Figure 4 A, B

**Described Material:** MP-Pb 1080 and 1083.

**Description:** The studied material is composed of two simple leaves, entire margin, microphyll, only the medium apical portion and apical preserved, acute apex; the length of the leaves varies more than 3.2 cm (MP-Pb 1080) to greater than 5.4 cm (MP-Pb 1083), the leaf has a width since values greater than 1.0 cm (MP-Pb 1080) to greater than 2.0 cm (MP-Pb 1083). The middle region is occupied by slightly sinuous subparallel veins that are fading on the apical segments, which form larger reticulum. The lateral veins are practically upright and bow from the middle region of the leaves in angles (emergency)  $10^\circ$ , reaching the leaf margins with a curve slightly steeper angles (divergence) ranging from  $26^\circ$  (MP-Pb 1083) to  $28^\circ$  (MP-Pb 1080). The veins virtually upright form long meshes, oblong to rectangular, with a greater density close to the leaf border, where there are approximately 18 veins / cm.

**Discussion:** the studied specimens are compared to the *Gangamopteris mosesi* Dolianiti (Dolianiti 1954) and *G. mucronata* Maithy (Maithy, 1965) due the median region occupied by winding subparallel veins and the lateral veins almost upright which form a rectangular to oblong long meshes. However, it differs from *G. mucronata* by acute apex, for presenting it medium venation that vanishes in the apical portion of the lamina forming larger reticulum and by the ones formed less narrow lateral venation. The studied specimens yet compare with *G. mosesi* by acute apex, median venation that vanishes in the apical portion of the leaf forming wider meshes and by the

emergency acute angles. However, it differs from the same by having small divergence angle and a small density venation. Although the specimens are rather incomplete, these differences cannot be simply related to this fact.

Therefore, it was decided to classify them as *Gangamopteris* aff. *G. mosesi*, since there seems to be some divergence between the features present in the specimens studied and that ones used as a diagnostic to species erected by Dolianiti (1954). On the other hand, you cannot have absolute certainty about the identity of the specimens analyzed here, because there are many incomplete to reveal its other diagnostic characteristics.

*Gangamopteris revoluta* Tybusch and Iannuzzi 2008

Figura 4 F

**Previous citations:** Tybusch e Iannuzzi, 2008, figs. 3D, 3E.

**Analysed Material:** MP-Pb 3099.

**Comments:** The specimen MP-Pb 3099 was described and figured in Tybusch and Iannuzzi (2008), who classified it into the species *Gangamopteris revoluta*. This specimen had been previously been described by Klepzig-Cazzulo *et al.* (1980b, Plate I, Figure 8) as *Gangamopteris angustifolia* (see synonymy in Tybusch and Iannuzzi, 2008).

FIGURE 4

**Genus:** *Glossopteris* Brongniart 1828

**Specie-type:** *Glossopteris browniana* Brongniart 1828

*Glossopteris* aff. *G. zeilleri* Pant and Gupta 1968

Figure 5 A, B

**Described Material:** UMVT 4184A, B.

**Description:** The studied specimens represent small leaves (notophylls), part and counterpart, simple, entire margins, where are preserved the basal portions or medians of the leaf, however, without producing the apex preserved. As from the more complete analysis of the leaf (specimen A U-4184) it was observed that the shape of the blade is apparently oblanceolate; cuneate acute base (U-4184 specimens A, B); the length of the sheet reaches value greater than 7.2 cm, while the leaf width has a value exceeding 2.0 cm. The median venation is not persistent across the leaf, vanishing in the middle portion of the secondary veins (specimen U-4184A); whereas in the basal portion is sharp with a width of 0.4 cm (specimen U-4184A). The secondary veins are derived from the median venation, in the leaf mid-basal portion, at acute angles, around  $10^{\circ}$  to  $19^{\circ}$  (= emergency angles), and curving gently toward the leaf margin, reaching angles ranging from  $42^{\circ}$  to  $45^{\circ}$  (= divergence angles). The venation density along the middle portion of the leaf varies from 18 to 20 veins / cm in the central part, and 29-30 veins / cm, while near the leaf borders. The secondary venation is quite evident in all specimens, where it was possible to observe the presence of narrow meshes, elongated and polygonal, near the median venation and the central part of the lamina, shorter and narrower, while near leaf margin, where veins often bifurcate, thereby increasing the density of venation. Throughout the lamina are present, beyond the dichotomies, oblique connection veins "X" type, but there are also some transversely disposed between the secondary veins (= cross-connections) which run parallel toward the leaf margin.

**Discussion:** The venation pattern of the studied specimens reminds ones of the *Glossopteris zeilleri* Pant and Gupta (as Chandra and Surange, 1979), *G. decipiens* Feistmantel (Feistmantel, 1879) and *G. formosa* Feistmantel (as Dolianiti, 1953), regarding the occurrence of a median venation that is not persistent to the apical portion (top third) of the leaf lamina. However, the studied form here is distinguished from *G. formosa* and *G. decipiens* by presenting (i) narrow meshes, elongated and

polygonal near the middle venation and the central part of the lamina, shorter and narrower when near the leaf margin which veins often bifurcate, thereby increasing the density of venation and (ii) the shape of the leaf possibly oblanceolated. Further, it is distinguished from *G. decipiens* by presenting a not very dense secondary venation.

On the other hand, the described specimens resemble *G. zeilleri* by the venation pattern of the secondary venation, where you can observe narrow meshes, elongated and polygonal near the median venation and the central part of the lamina, and shorter and narrower near leaf margin when veins are bifurcated. However, they differ from *G. zeilleri* by the angles at which the secondary veins reach the leaf margins (= divergence angles), ranging from 42 ° to 45 °, and in the form of limbo that appears wider and, it seems, shorter than the forms included in *G. zeilleri*.

Due to the specimens fragmentation, which presents no complete sample much less with a preserved apex, and due to the few differences compared to those described for *G. zeilleri*, it was better classifying the specimens as *Glossopteris* aff. *G. zeilleri*, since you cannot have absolute certainty as to the true form linking to some kind already established. The described form by the aspect of their median venation, apparently not persists until the apical portion, could even be pointed out as one of those forms considered as a transition between the genera *Gangamopteris* and *Glossopteris*, as was also suggested by Feistmantel (1879) to the *Glossopteris decipiens* species.

FIGURE 5

## FINAL REMARKS

Until this paper, the palaeobotanical content raised by many authors for the Cambaí Grande Outcrop comprised the *Gangamopteris*, *Samaropsis*, *Cordaicarpus* and *Cordaites* genera, beyond not well identified remains, such as fruiting bodies, algae and a gymnosperm branch. This study, however, confirmed the presence, for the first time, of the record of a sample linked to the genus

*Glossopteris* from the Cambaí Grande paleoflora (Table 1). The analyzed specimen distinguishes itself by presenting a sharp median vascular tissue of the basal to the middle portion of the leaf, which allowed including it in the genus *Glossopteris*. The presence of this genus in the Cambaí Grande outcrop (represented by the form here classified as *Glossopteris* aff. *G. zeilleri*) increases the correlation possibility of this association with younger paleofloras than those found in Itararé Group, since the genus *Glossopteris* becomes common as from the levels belonging to the Rio Bonito Formation (Rösler, 1978; Bernardes-de-Oliveira, 1980; Iannuzzi and Souza, 2005). Thus, this palaeobotanical data supports the new positioning of the Cambaí Grande outcrop proposed here based on stratigraphic correlations (Figure 1).

Nevertheless, it is clear that in Cambaí Grande, the predominance of forms related to genus *Gangamopteris* between glossopterids leaves, both in number of specimens as collected morphospecies. This domain of *Gangamopteris* leaves on the *Glossopteris* ones is typically recorded in associations found in Itararé Group and has been used as an indicator of greater ancestry and / or lower stratigraphic positioning within the "*Glossopteris* Flora" succession, such in the Paraná Basin (Rösler, 1978; Bernardes-de-Oliveira, 1980; Iannuzzi and Souza, 2005) and in India, where this same dominance relationship is marked in Talchir, Karhabari formations and the lower portion of the Barakar Formation (Chandra, 1991; Maheshwari, 1991; Maheshwari and Bajpai, 2001; Agnihotri and Srivastava, 2010). However, it should be noted that the amount of plant remains recovered in Cambaí Grande outcrop is extremely small.

Thus, it is possible that for being small the existing plant fossils collections in the institutions provide a greater number of *Gangamopteris* leaves due to simple bias sampling, which does not necessarily would reflect the existent proportions of these leaves in the original flora. Another possibility is that this tendency is taphonomically controlled by the greater abundance of glossopterids with *Gangamopteris*-type leaves inhabiting areas closer to the shoreline. According to Retallack, plants with gangamopteroid foliage leaves would be more common in communities living

along the coast as well as in that were distributed by the other the coastal plain environments, at least in the Sydney Basin, Australia (Retallack, 1980).

Finally, it should be noted the confirmation of the presence of the species *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel, typical of India (Feistmantel, 1876), in the Lower Permian sequence of the Paraná Basin, in the upper portion of the Itararé Group and in the Rio Bonito Formation, as synonymous established here (see Tybusch and Iannuzzi, 2008, to check distribution in Itararé group). This species has a stratigraphic distribution confirmed for the Lower Permian in India, having been marked for the Talchir, Karhabari and Barakar formations (Agnihotri and Srivastava, 2010), presenting, however, a record only doubtful for Kulti and Raniganj formations, the Middle to Upper Permian (Maheshwari, 1991; Agnihotri and Srivastava, 2010). Therefore, considering the only reliable record of the species, we find a clear correspondence between the stratigraphic range of *G. cyclopteroides* in the Paraná Basin and in the Indian Gondwana sequence, thus suggesting a correlation between the upper portion and the Rio Bonito Formation and Talchir, Karhabari formations and the lower portion of the Barakar Formation, as previously proposed based on the megafloora by Bernardes-de-Oliveira (1980). The record of this Indian species joins the occurrence of other forms typically Indian, marked the last decade for the Lower Permian of the Paraná Basin, e.g. *Cheirophyllum* sp., *?Kawizophyllum* sp., *Giridia* spp. (Iannuzzi, 2000; Iannuzzi et al., 2006, 2010, Boardman and Iannuzzi, 2010), which may indicate the existence of a floristic interchange between these two Gondwanan regions during the Early Permian times.

#### TABLE 1

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Brazilian Research Council (*Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* - CNPq) for the support through scholarships to two of the authors (processes 130053/2005-8 to GPT, and PQ305687/2010-7 to IR), to Daiana R. Bordman for her

assistance in the field work that raised section of the Cambaí Grande outcrop, and Luiz Flávio Lopes (DPE-IG-UFRGS) for the production of photographic material. This work is a contribution of the Gondwana Research Center (CIGO-UFRGS) for projects funded by CNPq (processes 474153/2004-5, 483463/2007-8) and FAPERGS (process PqG 10/1584-6), and the CNPq Indo-Brazilian scientific cooperation project (Process 490829/2007-4), coordinated by Prof. Dr. Mary Elizabeth C. Bernardes-de-Oliveira.

## REFERENCES

- ARCHARYYA, S. K.; GHOSH, S. C.; SINGH, G. Limits of stratigraphic distribution of *Glossopteris* in India: discussion. *Review of Palaeobotany and Palynology*. Amsterdam, v. 23, p. 145-158, 1977.
- BARBOSA, O. On the age of the Lower Gondwana Floras in Brazil and Abroad. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 20., 1958. Cidade do México. *Proceedings...* Cidade do México: Comisión de Gondwana, 1958, p. 205-236.
- BARCELLOS, M. T. *Estudo de escamas e dentes de peixes da fácies Budó, Subgrupo Itararé, Rio Grande do Sul*. 1973. 65p. Tese (Mestrado) - Instituto de Geociências da UFRGS, Porto Alegre.
- BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C. Tafoflora Eogondvânica da Formação Rio Bonito (Camada Irapuá), Bacia do Paraná, Brasil. In: CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGIA Y BIOESTRATIGRAFIA, 2. / CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 1., 1978. Buenos Aires. *Actas...* Buenos Aires: APA, 1980. t. 4, p. 69-88.
- BOARDMAN, D.R.; IANNUZZI, R. Presence of the genus *Giridia* in the Paraná Basin (Lower Permian, Rio Bonito Formation). *Revista Brasileira de Paleontologia*. Porto Alegre, v. 13, no. 1, p. 1-8, 2010.



CARRUTHERS, W. On the plant remains from the Brazilian Coal Beds with remarks on the genus *Flemingites*. In: PLANT, N. *The Brazilian Coal Fields*. London, 1869. v. 6, no. 4, p. 5-10.

(Geological Magazine).

CAZZULO-KLEPIZIG, M.; GUERRA-SOMMER, M.; MARQUES-TOIGO, M. Estudo Macro e Microflorístico do Grupo Itararé (Bacia do Paraná), Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980a. Balneário Camboriú, Santa Catarina. *Anais...* Balneário Camboriú: 1980. v. 5, p. 3027-3040.

CAZZULO-KLEPIZIG, M.; GUERRA-SOMMER, M. ; BOSSI, E. G. Revisão fitoestratigráfica do grupo Itararé no Rio Grande do Sul. I. Acampamento Velho, Cambaí Grande, Budó e Morro do Papaléo. *Boletim Instituto de Geociências*, Universidade de São Paulo. São Paulo, v. 11, p. 55-75, 1980b.

CAZZULO-KLEPIZIG, M. ; GUERRA-SOMMER, M. Relationship between the Taphoflora of the Itararé Group, Paraná Basin, South Brazil and the Permocarboniferous Boundary. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ESTRATIGRAFIA Y GEOLOGIA DEL CARBONÍFERO, 10, 1985. *Comptes rendus...* Madrid, 1985. v. 2, p. 395-408.

CHANDRA, S. Changing patterns of the Permian Gondwana vegetation. *The Palaeobotanist*. Lucknow, v. 40, p. 73-100, 1991.

CHANDRA, S.; SURANGE, K.R. *Revision of the Indian species of Glossopteris*. Lucknow: Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, 1979, 301 p. (Monografia n. 2 - Birbal Sahni Institute of Palaeobotany)

CORREA DA SILVA, Z. C. Observações sobre o Grupo Tubarão no Rio Grande do Sul com especial destaque à estratigrafia da Formação Itararé. *Pesquisas*, Instituto de Geociências, UFRGS, v. 9, p. 9-62, 1978.

COWPER REED, F. R. Uma nova fauna Permocarbonífera do Brasil. *Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico*, Ministério da Agricultura. Rio de Janeiro, v. 10, p. 1-7, 1930.

- DOHMS, M. H. Revisão crítica das citações da Flora *Glossopteris* para o Rio Grande do Sul – I. Folhas e Frutificações. *Pesquisas*, Instituto de Geociências, UFRGS, v. 7, p. 145-170, 1977.
- DOLIANITI, E. Notícias sobre novas formas na Flora de *Glossopteris* do Brasil Meridional. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, *Notas Preliminares e Estudos*. Rio de Janeiro, v. 34, p. 1-6, 1946.
- DOLIANITI, E. A flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina I – O gênero *Glossopteris*. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, *Notas Preliminares e Estudos*. Rio de Janeiro, v. 60, p. 1-13, 1953.
- DOLIANITI, E. A flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina V – O gênero *Gangamopteris*. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, *Notas Preliminares e Estudos*. Rio de Janeiro, v. 89, p. 1-12, 1954.
- FEISTMANTEL, O. Fossil Flora of the Gondwana System. I. (suppl.) - The flora of the Talchir-Karharbari beds. *Memoirs of the Geological Survey of India: Palaeontologia Indica series*. Calcutta, v. 12, n. 3, p. 1-64, 1879.
- GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M. A tafoflora do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul sua importância bioestratigráfica no Gondwana Sul-Brasileiro: In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO PALEONTOLOGIA, 2., 1981. Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: 1981. p. 127-140.
- GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M. Biostratigraphy of the Southern Brazilian Neopalaeozoic Gondwana Sequence: a preliminary palaeobotanical approach: In: INTERNATIONAL CONGRÈS DE LA STRATIGRAPHIE ET GÉOLOGIE DU CARBONIFÈRE ET PERMIEN, 12, 1993. *Comptes rendus...* Buenos Aires: 1993. v. 2, p. 61-72.
- IANNUZZI, R.; SOUZA, P. A. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-date overview. In: LUCAS, S.G.; ZIGLER, K.E. (eds.). *The Nonmarine*

*Permian*. New Mexico, NMMNH, 2005. p. 144-149. (New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 30).

IANNUZZI, R.; SCHERER, C. M. S.; SOUZA, P. A.; HOLZ, M.; CARAVACA, G.; ADAMI-RODRIGUES, K.; TYBUSCH, G. P.; SOUZA, J. M.; SMANIOTTO, L. P.; FISCHER, T. V.; SILVEIRA, A. S.; LYKAWKA, R.; BOARDMAN, D. R.; BARBOZA, E. G. Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná. In: SCHOBENHAUS, C. *et al.* (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Volume II*. Brasília: CPRM, 2009, p. 321-336. Disponível em:

<<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio101/sitio101.pdf>>. Acesso em: 11 dez. 2006.

IANNUZZI, R.; SOUZA, P. A.; HOLZ, M. Stratigraphic and paleofloristic record of the Lower Permian postglacial succession in the southern Brazilian Paraná Basin. In: LÓPEZ-GAMUNDÍ, O. R.; BUATOIS, L. A. (eds.). *Late Paleozoic Glacial Events and Postglacial Transgressions in Gondwana*. Denver: GSA, 2010. p. 113-132. (Geological Society of America Special Papers, 468).

LOCZY, L. Problemas da estratigrafia e paleogeografia Carbonífera da Bacia do Paraná.

Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, *Boletim*. Rio de Janeiro, v. 214, p. 1-113, 1964.

MAHESHWARI, H. K. Provincialism in Gondwana floras. *The Palaeobotanist*. Lucknow, v. 40, p. 101-127, 1991.

MAHESHWARI, H.; BAJPAI, U. Phytostratigraphical Sucession in the *Glossopteris* Flora of India. *Revista Universidade Guarulhos: Geociências*. Guarulhos, v. VI, no. 6, p. 22-34, 2001.

MAITHY, P. K. Studies in the *Glossopteris* Flora of India – 26. Glossopteridales from the Karharbari Beds, Giridih Coalfield, India. *The Palaeobotanist*. Lucknow, v. 13, n. 3, p. 248-263, 1965.

MARTINS, E. A. *Aviculopecren cambahyensis* n. sp. do Permocarbonífero do Rio Grande do Sul. *Boletim do Museu Nacional: Nova Série: Geologia*. Rio de Janeiro, v. 13, p. 1-5, 1951.

- MARTINS, E. A.; SENA SOBRINHO, M. Novos fósseis e a idade da Formação Maricá, Rio Grande do Sul. *Boletim do Museu Nacional: Nova Série: Geologia*. Rio de Janeiro, v. 8, p. 1-7, 1950.
- PINTO, I. D. Série Maricá, Camaquan e Formação Teixeira Soares no Rio Grande do Sul. Histórico, idade e correlação. *Boletim do Instituto de Ciências Naturais*. Porto Alegre, v. 2, p. 1-18, 1955.
- PINTO, I. D.; PURPER, I. New scolecodonts from the Budó facies, Itararé Subgroup (Carboniferous?) of Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Rio de Janeiro, v. 46, n.3/4, p. 524-35, 1974.
- RIGBY, J. F. 1970. The distribution of Lower Gondwana plants in the Paraná Basin of Brazil. In: GONDWANA SYMPOSIUM, 2., 1970. Pretoria, South Africa. *Proceedings and Papers...* Pretoria: 1970, p. 575-584.
- RETALLACK, G. J. Late Carboniferous to Middle Triassic megafossil floras from the Sydney Basin. In: HERBERT, C.; HELBY, R. (eds.). *A guide to the Sydney Basin*. New South Wales: Department of Mineral Resources- Geological Survey of New South Wales, 1980. p. 384-430. (Bulletin Geological Survey of New South Wales, 26).
- ROHN, R.; BABINSKI, M. E. C. B.; RÖSLER, O. *Glossopteris* da Formação Rio do Rasto no sul do estado do Paraná: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro: 1984. p. 1047-1061.
- RÖSLER, O. The Brazilian eogondwanic floral succession. *Boletim do Instituto de Geociências USP: Série Científica*. São Paulo, v. 9, p. 85-90, 1978.
- SEWARD, A. C. Fossil Floras of Cape Colony. *Annals of South African Museum*, London, v. 4, pt. 1, pls. i-xiv, 8 text-figs., p. 122, 1903.
- SILVA, L. P.; IANNUZZI, R. *Cheirophyllum specularis* Césari & Cúneo e ?*Dicranophyllum* sp., novas formas afins às Gingkophytas na sequencia gondvânica neopaleozóica do sul do Brasil. *Revista Universidade Guarulhos: Geociências*. Guarulhos, no. Especial, p. 40-43, 2000.

- SRIVASTAVA, A. K.; AGNIHOTRI, D. Morphological consequence of *Gangamopteris* McCoy in *Glossopteris* flora. *Journal of Asian Earth Sciences*. United Kingdom, v. 39, p. 760-769, 2010.
- STEWART, W. N.; ROTHWELL, G. W. *Paleobotany and the evolution of plants*. Cambridge: Cambridge University Press. 1993. 521p.
- TYBUSCH, G. P.; IANNUZZI, R. Reavaliação Taxonômica dos Gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*. Porto Alegre, v. 11, p. 73-86, 2008.
- WHITE, D. Fossil Flora of the Coal Measures of Brazil. In: White, I.C., *Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Relatório Final*. Edição fac-similar. Seventh Gondwana Symposium, 2ª ed. 1988. Departamento Nacional de Produção Mineral. São Paulo, p. 558-568.
- ZINGANO, A. G.; CAUDURO, A. D. Afloramentos fossilíferos do Rio Grande do Sul. *Boletim do Instituto de Ciências Naturais*. Porto Alegre, v. 8, p. 1-48, 1959.

## LEGENDS

**Figure 1.** Map of Cambaí Grande outcrop locality in São Gabriel, Rio Grande do Sul.

**Figure 2.** Stratigraphic section of the Cambaí Grande Outcrop.

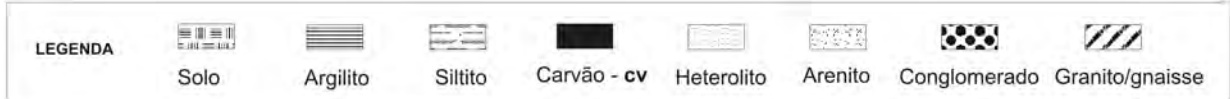
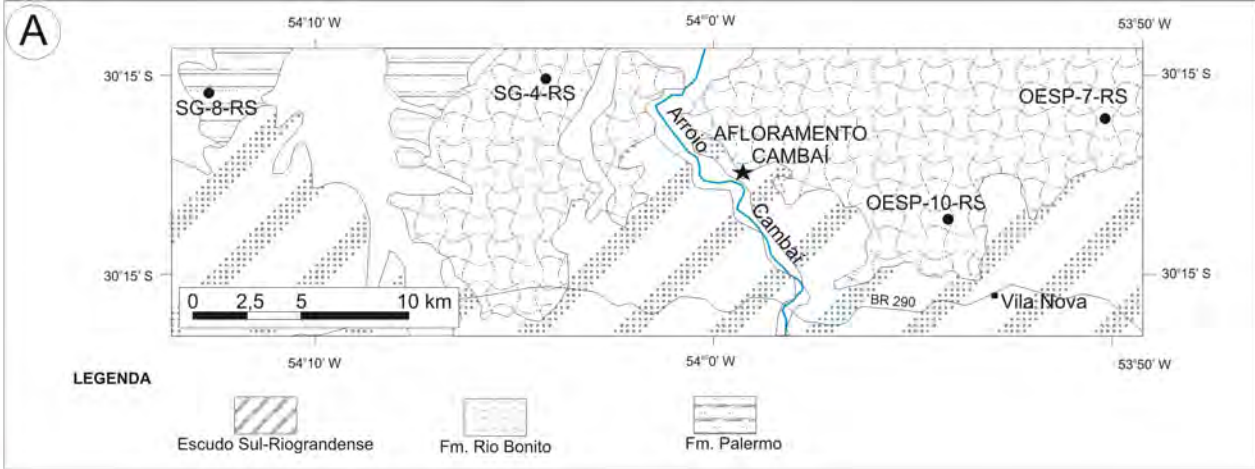
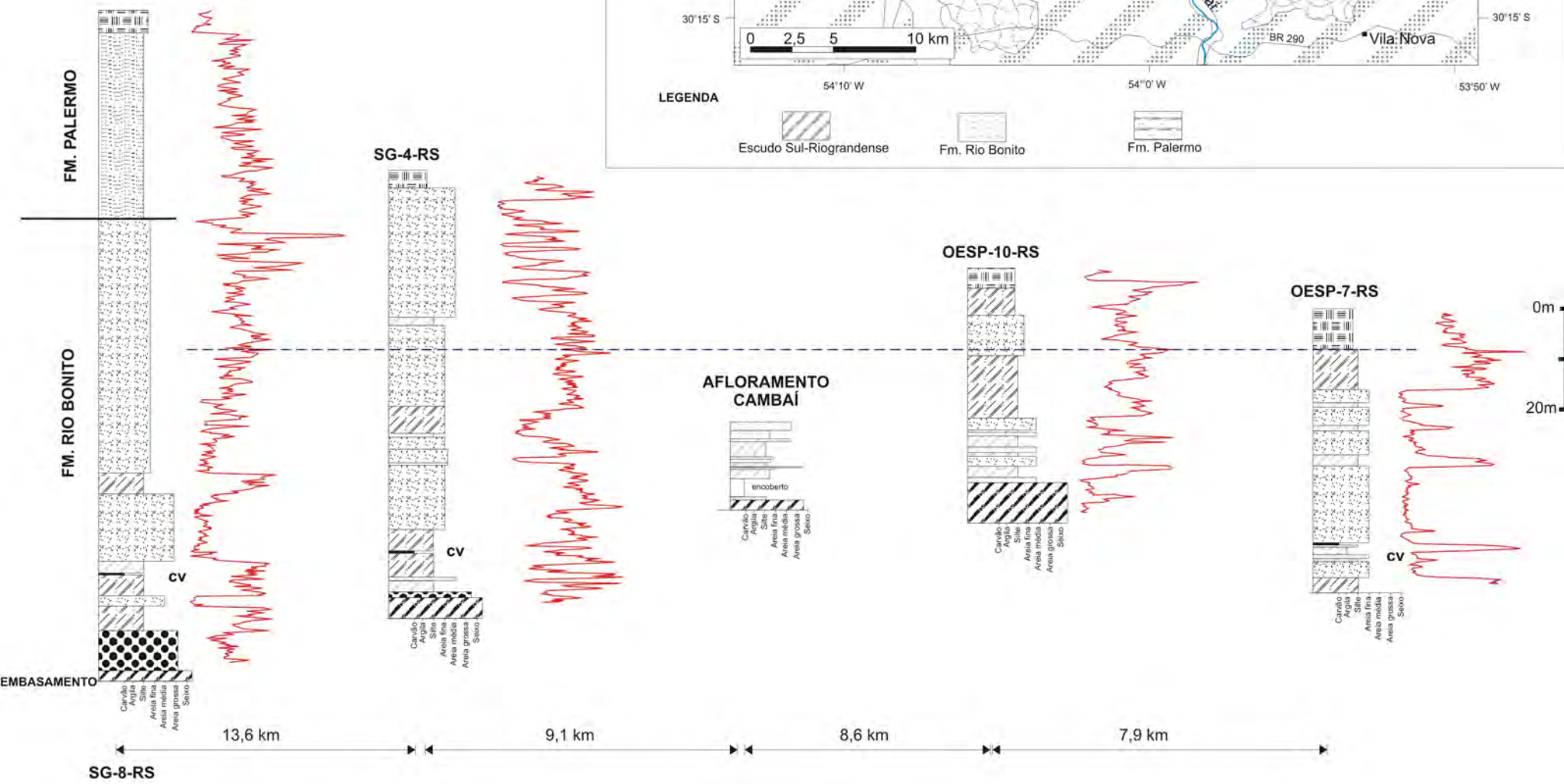
**Figure 3.** Anastomoses types in glossopterid leaves: A oblique connection. B, transversal connection C, "X"-type connecting.

**Figure 4** *Gangamopteris* cf. *G. mosesi* Dolianiti: A, MP-Pb 1083, leaf showing apex acute and median region occupied by subparallel veins that are fading on the apical portions which form wider meshes. B, MP-Pb 1080, leaf with preserved apical region showing upright veins forming meshes virtually long, rectangular to oblong with a higher density near the leaf borders. *G. cyclopteroides* Feistmantel: C, MP-Pb 1042, D, MP-Pb 3196, E, MP-Pb 2721, leaves showing: i) the median region occupied by subparallel veins forming elongated and rectangular meshes, the central veins are sharp to the apical leaf, which are more diffuse; ii) lateral veins nearly straight bowing from the middle region at angles (emergency) of  $18^{\circ}$  to  $20^{\circ}$ , reaching the leaf margins with a steepening angles (the divergence) ranging from  $45^{\circ}$  to  $54^{\circ}$ , the secondary veins form elongated meshes, rectangular with a higher density near the leaves margin, which bifurcate forming meshes several times shorter and narrower. *G. revolute* Tybusch & Iannuzzi: F, MP-Pb 3099, figured specimen properly described in Tybusch and Iannuzzi (2008, figure 3 D, E).

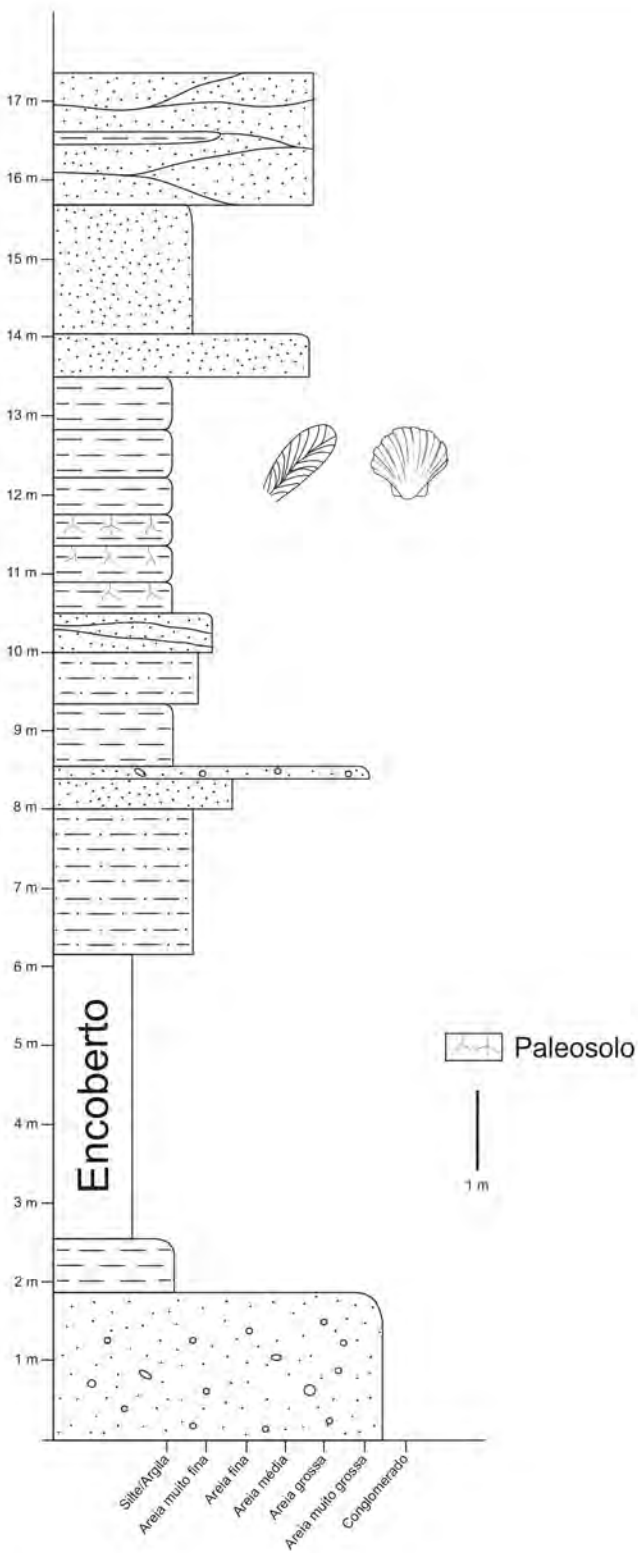
**Figure 5.** *Glossopteris* aff. *G. zeilleri* Pant & Gupta: A, UMVT 4184 A; B, UMVT 4184 B, specimens presenting: i) non-persistent median venation in the upper portion of the leaf lamina and sharp in the basal portion; ii) clear secondary venation with narrow meshes, elongated and polygonal

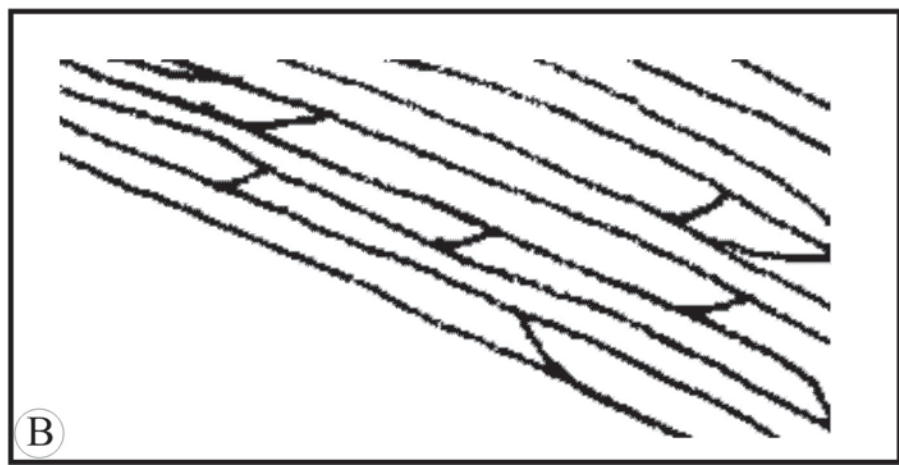
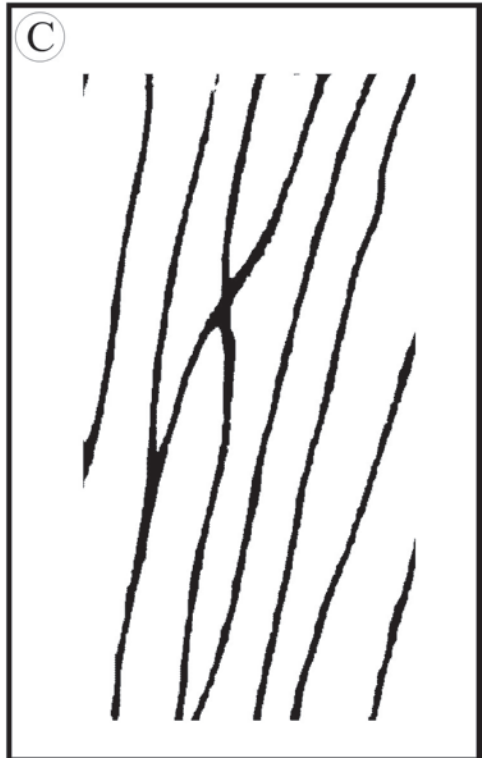
close to the median venation and middle part of the lamina, and shorter and narrow when much closer the leaf border where the veins bifurcate more times increasing the venation density; iii) dichotomies, oblique and "X"-type connection veins and transversally veins arranged between the secondary veins (= cross-connections) which run parallel toward the leaf margin.

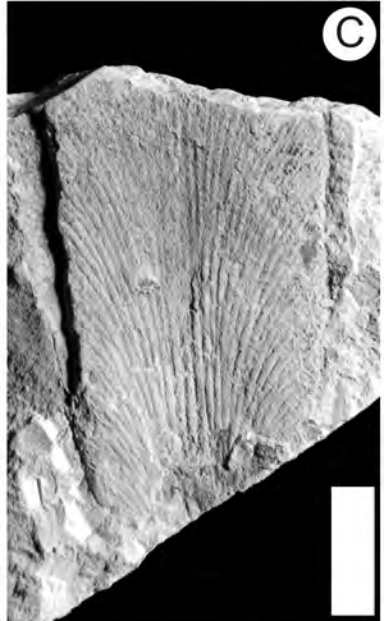
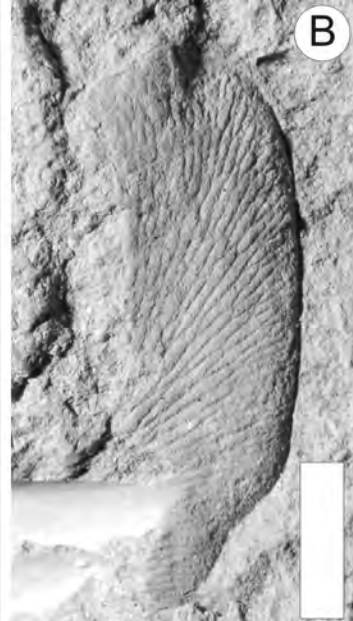
**Table 1.** Previous paleobotanical content from the Cambaí Grande Outcrop cited by Pinto (1955), Cazzulo-Klepzig et al. (1980a, b), Guerra-Sommer and Cazzulo Klepzig (1981), Cazzulo-Klepzig and Guerra- Sommer (1985), comparing with the present contribution.

**B**











<i>Paleobotanical Record</i>	<i>Pinto (1955)</i>	<i>Cazzulo-Klepzig et al. (1980a,b), Guerra-Sommer &amp; Cazzulo-Klepzig (1981), Cazzulo-Klepzig &amp; Guerra- Sommer (1985)</i>	<i>Present Contribution</i>
Indeterminate algae		X	X
<i>Gangamopteris</i> sp.	X	X	X
<i>Gangamopteris obovata</i>		X	
<i>Gangamopteris angustifolia</i>		X	
<i>Gangamopteris buriadica</i>		X	
<i>Gangamopteris cyclopteroides</i>			X
<i>Gangamopteris revoluta</i>			X
<i>Gangamopteris</i> cf. <i>mosesi</i>			X
<i>Glossopteris</i> sp.	X		
<i>Glossopteris</i> aff. <i>zeilleri</i>			X
<i>Phyllothea</i> sp.	X		
<i>Cordaïtes</i> sp.		X	X
<i>Samaropsis</i> sp.		*X	
<i>Cordaicarpus</i> sp.		X	X
Gymnosperm cone		X	X

\* Information cited only in Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980b).

## Capítulo 6

“Absence of the genus *Rubidgea* in the taoflora of Cerquilha, sp (Lower Permian of the Paraná Basin) and its biostratigraphic consequences”. Graciela Pereira TYBUSCH & Roberto IANNUZZI . *GEOBIOS*, em submissão.

**ABSENCE OF THE GENUS *RUBIDGEA* IN THE TAFOFLORA OF  
CERQUILHO, SP (LOWER PERMIAN OF THE PARANÁ BASIN)  
AND ITS BIOSTRATIGRAPHIC CONSEQUENCES**

GRACIELA PEREIRA TYBUSCH & ROBERTO IANNUZZI

Depto. de Paleontologia e Estratigrafia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91509-900, Porto Alegre,  
RS, Brasil.

gracielatybusch@yahoo.com.br; roberto.iannuzzi@ufrgs.br

**ABSTRACT:** The specimens revised in this study came from the outcrop Sítio Itapema, located in the municipality of Cerquilha, São Paulo state and positioned stratigraphically on top of the Itararé Group and/or base of the Tietê Formation, Lower Permian of the Paraná Basin. The study material comprises leaves fragments preserved as impressions, previously included in the morphogenus *Rubidgea* because of their supposed gangamopterid venation pattern, lacking anastomoses. However, re-evaluation of this material showed that these leaves bear at some degree, rare anastomoses along the lamina. Based on this observation, we proposed that these leaves should be transferred to the morphogenus *Gangamopteris*, which displays this type of venation. Consequently, the reclassification of the Cerquilha Velho glossopterids into species of *Gangamopteris* made possible a more direct correlation between the Early Permian strata of the Itararé Group in the north and south portions of the Paraná Basin based on megafloristic comparison.

**Key-words:** *Rubidgea*, *Gangamopteris*, Paraná Basin, Lower Permian, Brazil.

## 1. Introduction

The classification of glossopterid leaves is surrounded by a series of aspects that make difficult their taxonomic identification, especially regarding impressions. Several authors (Arber, 1902; Arber, 1905; Seward, 1907; Seward, 1910; Walkom, 1922; Surange & Srivastava, 1956; Maithy, 1966; Kovács-Endrödy, 1977; Chandra & Surange, 1979) have already expressed their concerns for the possibility of classifying glossopterids when fructifications or cuticles are absent. When only leaves impressions are available for glossopterids, the identification of each morphogenus relies on the venation pattern (presence/absence of midrib venation and type of secondary venation – with or without anastomoses). The shape and size of the leaves are relevant features when morphospecies show a very similar venation pattern among them. In the Paraná Basin, contrary to other Gondwanan areas such as India, only three glossopterid leaves morphogenera were reported: *Glossopteris* Brongn., *Gangamopteris* McCoy and *Rubidgea* Tate, comprising several species of wide geographic and/or stratigraphic distribution.

The record of the genus *Rubidgea* in Brazil was first mentioned by Cazzulo-Klepzig et al. (1980) for the Itararé Group of the Rio Grande do Sul state, and it is represented by a specimen classified as *Rubidgea* sp. Later, *Rubidgea obovata* Maithy 1965 and *Rubidgea lanceolatus* Maithy 1965 were illustrated and reported for the outcrops Acampamento Velho, Morro do Papaléo, Fazenda Goulart and Faxinal, corresponding to the top of the Itararé Group in Rio Grande do Sul state (Cazzulo-Klepzig et al., 1980; Guerra-Sommer et al., 1980; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1981). However, the specimens were not formally described by those authors.

Millan & Dolianiti (1982) described and identified a total of four species of the genus *Rubidgea* from Sítio Itapema, in the Cerquilha municipality, São Paulo state: *R.*



*obovata*, *R. lanceolata*, *R. lanceolata* var. *truncata* and *R. itapemensis*. The two latter taxa represented new species erected by these authors at that time. The deposit is related to the top of the Itararé Group in São Paulo state (or Tietê Formation, see Geology). In the same work, the authors also provided an emended diagnosis for the genus *Rubidgea*, originally erected by Tate (1867), adding characters regarding the leaf morphology, such as the shapes of the lamina, apex and base and the type of margin.

Rohn *et al.* (2000) reported the occurrence of *Rubidgea* sp. for a taoflora comprising *Gangamopteris* sp., *Noeggerathiopsis?*, *Samaropsis* sp., sphenophytes and some fructifications, recovered from the Itararé Group strata outcropping along the margins of the river Capivari, in Tietê municipality, São Paulo state, considered Late Carboniferous to Early Permian in age. However, the authors did not describe the specimens, but only figured them with photos and mentioned the *Rubidgea* and *Gangamopteris* specimens.

Based on the classification criteria usually considered in the distinction of leaf morphogenera, Tybusch & Iannuzzi (2008) have recently showed that forms previously attributed to the genus *Rubidgea* are absent from the Lower Permian deposits on top of the Itararé Group and in the Rio Bonito Formation, Rio Grande do Sul state. The authors analysed and revised about 70 specimens from localities of the two deposits and concluded that the specimens previously assigned to *Rubidgea* should be in fact, classified as *Gangamopteris*, since they display the morphographic characters that correspond to those found in the original diagnosis of *Gangamopteris*, such as: (i) lack of a visible median venation, and mainly, (ii) though rare, the presence of anastomoses along the leaf lamina.

Considering that *Rubidgea* is a very rare taxon in Gondwana – there is only one occurrence in South Africa and another in India (Tate, 1867; Maithy, 1965a) – the

present contribution aimed to extend the taxonomic re-evaluation to all forms previously described and included in this genus and that were recovered from the northern parts of the Paraná Basin (e.g. São Paulo state), specially from the outcrop Cerquilha Velho.

This paper represents the continuation of the revision project of the specimens classified as *Rubidgea*, found in the deposits of the south portion of the basin (e.g. Rio Grande do Sul state) previously published by the authors (Tybusch & Iannuzzi, 2008). In addition, this work is part of the PhD thesis of the first author.

## 2. Geological setting

The specimens which were re-evaluated in this study correspond to those published in Millan & Dolianiti (1982) and assigned to different species of *Rubidgea*. The ten specimens came from the Cerquilha Velho outcrop, located in the municipality of Cerquilha, São Paulo state. The stratigraphic position of this outcrop is not clear, since there are different interpretations for it. Nagali & Consoni (1984), Martini & Rocha-Campos (1991), Santos *et al.* (1996), Rocha-Campos *et al.* (2000), among others, considered the “coal measures” containing the fossil plants from Cerquilha as a result of a sedimentary process that took place in an interglacial scenario and consequently, these beds should be assigned to the upper part of Itararé Group. Other authors, like Perinotto (1987), Rohn (1987) and Fulfaro *et al.* (1991), considered the Cerquilha strata as post-glacial deposit and thus belonging to the Tietê Formation, correlated to the Rio Bonito Formation, an unit found in the central to southern Paraná Basin, south of Brazil (Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul states).

Due to the lithostratigraphic divergences mentioned above, the position of the Cerquilha strata was considered as one deposit inside the interval from the top of the Itararé Group up to the base of the Tietê Formation (Figure 1).

The stratigraphic profile of the Cerquilha Velho outcrop adopted in this paper is that published by Millan & Dolianiti (1982). According to the authors, the study material was collected in the second fossiliferous horizon of the outcrop and would correspond to the “Sítio Itapema Tafoflora” (Figure 1).

### 3. Material and Methods

The specimens re-evaluated in the present study are preserved as impressions. Accordingly, the methodology employed was that considered as standard for Paleobotany when analysing impressions or compressions. The material was first observed using a stereomicroscope, the measures were taken using rulers and a pair of callipers and the drawings of the specimens were made using photos and a light table.

For description and comparison of the material, it was adopted the classification of Chandra & Surange (1979). The method and parameters established by Rohn *et al.* (1984) were followed for the study of the venation density and emergent and divergent angles of secondary venation. Finally, for clarifying and standardizing the types of anastomoses that were found in the analysed specimens, the three categories defined by Tybusch & Iannuzzi (2008) were adopted: (i) oblique connections, (ii) transversal or cross-connections and (iii) X-type connections (Figure 2). According to Tybusch & Iannuzzi (2008), (i) the oblique connections (Figure) are those originated at acute angles from a fork of the secondary veins; (ii) the transversal connections (Figure 2) are those originated from transversal veins (subparallels to the median veins or the midrib, or in almost 90° angles) that connect two parallel secondary veins, but do not modify their own courses; (iii) the X-type connections (Figure 2) represent the crossing or convergence of neighboring secondary veins.

The material was collected by Millan & Dolianiti (1982) and it is housed in the Paleobotany collection of the Departamento de Geologia e Paleontologia at the Museu Nacional (MN), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, under the prefix DGP-MN Pb. The higher taxonomic categories adopted in this work follows Stewart & Rothwell (1993).

#### 4. Systematic Paleontology

We are going to present the criteria which define the morphogenera *Rubidgea* and *Gangamopteris*, besides a comparative analysis of the two taxa, with the aim of providing information for the subsequent discussions concerning the taxonomic re-evaluation of our specimens.

##### 4.1. Morphogenus *Rubidgea*

The main diagnostic features of the genus *Rubidgea*, named by Tate in 1867, are the presence of dichotomic venation, without anastomoses and without prominent median veins. Based on the presence of these characters in two specimens from Hammanskraal, South Africa, Tate erected the type-species *Rubidgea mackayi*. However, there is apparently no photographic record of these specimens, what led Arber (1905) to regard the genus as *incertae sedis*. Seward (1907) believed that the type-specimens were lost and the drawing from Tate (1867) inexact, so he considered *R. mackayi* synonym with *Glossopteris indica*. Kovács-Endrödy (1977) confirmed the supposition of Seward (1907) after a large scale study of leaf impressions found in a quarry near Hammanskraal, South Africa. The author concluded that the impressions of a nearly complete leaf split in the two parts, part and counter-part, could be very distinct. In a particular specimen illustrated by the author (Kovács-Endrödy, op. cit. p.

314, fig. 1 and 2), the part, corresponding to the adaxial side of the leaf, presented a typical venation pattern attributed to *Rubidgea*, like the absence of anastomoses, while the counterpart, the abaxial side of the same leaf, displayed the typical venation of the forms included in *Glossopteris*, which means, there were anastomoses and a prominent midrib. Thus, Kovács-Endrödy (1977) believing that the lack of anastomoses was a taphonomic artifact, transferred the type-species of *Rubidgea* to the genus *Glossopteris*, resulting in the new combination *Glossopteris mackayi* (Tate) Kovács-Endrödy. According to the same author, the impressions of the upper side of the leaves usually do not display marked lines or prominent veins, leading to distorted venation patterns and consequently, misinterpretations of their characteristics. Such misinterpretation would have made Tate erect the morphogenus *Rubidgea*.

However, other occurrences of *Rubidgea* were recorded for Gondwana by Maithy (1965a), who described and erected two new species: *R. obovata* and *R. lanceolatus*. Both were found in the Permian coal deposits from Giridih, Bihar state, India. These records, however, were not discussed by Kovács-Endrödy (1977) or any other authors, and they remain the only species considered valid for the genus, besides the Brazilian material discussed in this work. Therefore, we can say that the material from India and Brazil supports the existence of the genus *Rubidgea* as a taxonomic entity so far.

#### 4.2. Morphogenus *Gangamopteris*

The genus *Gangamopteris* is characterized by a typical venation pattern found in the forms of *Glossopteris*, but with no prominent midrib. Originally, it was described as *Cyclopteris angustifolia* by McCoy (1847), who later proposed the change to *Gangamopteris* after the examination of a large amount of specimens from the Bacchus-

Marsh Sandstone, located in Victoria State, Australia. McCoy (1860, apud Maithy, 1966; 1875) observed that these specimens displayed two constant features: presence of anastomoses in the secondary veins and absence of a midrib. In the present contribution, we considered the morphogenus *Gangamopteris* valid like it was defined by McCoy (1875).

#### 4.3. *Rubidgea* versus *Gangamopteris*

As mentioned previously, the identification of each morphogenus is based mainly on characteristics of the venation pattern (presence/absence of median venation and type of secondary venation), while the shape and size of the leaves are features that have been used only to distinct the morphospecies when they have a very similar venation pattern.

Considering this, the specimens revised in the present study were re-classified at generic level, based mainly on the characteristics of the venation pattern. Thus, *Gangamopteris* is considered a type of leaf recognized by the absence of median venation, but sometimes displaying a median groove and/or a median region occupied by subparallel veins, and it is also recognized by the presence of anastomoses along the lamina. Coincidentally, the absence of these features characterizes the morphogenus *Rubidgea*.

#### 4.4 .Morphospecies *Gangamopteris obovata*

Carruthers (1869) illustrated and briefly described a specimen under the name *Noeggerathia obovata*. It was collected in the municipality of Candiota, in the Rio Grande do Sul state. Posteriorly, the specimen was synonymized with *Euryphyllum wittianum* by Zeiller (1896). On the other hand, Seward (1903) and Arber (1905)

examined the type-specimen of Carruthers, which is housed at the Natural History Museum, in London, and considered it identical to the material assigned to *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel (1879). The latter is a species commonly found in the Lower Gondwana of India, and thus, it was included under this epithet. However, D. White (1908), studied new Brazilian specimens that were collected by I.C. White (1908) in Santa Catarina state, and revalidated Carruthers species, under a new combination: *Gangamopteris obovata*. Besides this, White proposed an emended diagnosis for the original species. In 1908, D. White synonymized the Australian species *G. spatulata* McCoy and the Indian species *G. cyclopteroides* e *G. major* Feistmantel, with *Gangamopteris obovata*. Also, he synonymized the varieties *G. cyclopteroides* var. *attenuata* Feistmantel and *G. cyclopteroides* var. *major* (Feist.) Arber (= *G. major* Feistmantel), because he considered that all these forms (Indian, Australian and the varieties) were similar enough among themselves and should be included in the same epithet. Despite this, White (1908) commented (op. cit., p. 530) that most of the Brazilian material was more closely related to the form described as *G. major* by Feistmantel (1879). This form was considered to be a variety of *G. cyclopteroides* (e.g., *G. cyclopteroides* var. *major*) by Arber (1905). White (1908) also concluded he was not able to recognize the typical Indian forms of *G. cyclopteroides* among the Brazilian specimens studied by him. He pondered that maybe this form could be a variety or subspecies of *G. obovata*. Later, Dolianiti (1954), following the suggestions of White, pointed the presence of *G. obovata* (Carr.) White, in Criciúma, Santa Catarina State. Also, he erected a new variety for this species, called *G. obovata* var. *major* Feistmantel, based on the variety proposed by Arber (1905), e.g. *G. cyclopteroides* var. *major*.

More recently, Kovács-Endrödy (1977) suggested a new combination for *Gangamopteris obovata* in the genus *Glossopteris*: *Glossopteris obovata* (Carr.)

Kovács. The author considered the genus *Gangamopteris* a junior synonym of *Glossopteris*. In this way, she proposed a new combination for all species of *Gangamopteris* previously described, including the Indian forms *G. cyclopteroides* and *G. major*, establishing *Glossopteris cyclopteroides* (Fstm.) Kovács and *Glossopteris major* (Fstm.) Kovács. Additionally, Kovács-Endrödy (1977) recognized as valid species *G. obovata*, *G. cyclopteroides* and *G. major* and indicated useful diagnostic features to distinguish them from each other. However, the author provided an emended diagnosis of *G. obovata* and a new combination for most of the specimens originally described by Feistmantel (1879, 1882, 1886) as *G. major* (op. cit., p. 23).

We concluded that *G. major* should be considered a junior synonym of *G. obovata*, since they comprise identical forms, as suggested by White (1908) and in part by Kovács-Endrödy (1977). This conclusion was reached after a detailed analysis of the (i) type-specimen of Carruthers and its high-resolution photographs (exclusively provided by the curatorship of the British Museum), (ii) some Indian specimens of the Feistmantel collection, assigned to *G. cyclopteroides* and *G. major* (housed at the Geological Survey of India, in Calcutta) and (iii) specimens described as *G. obovata* (housed at the Smithsonian Institute, Washington), by White. Kovács-Endrödy (1977), however, kept some of the specimens under the specific epithet *Glossopteris* [*Gangamopteris*] *major* (op cit., p. ), and provided diagnostic features that validated the retention of this species. We do not agree with the author since we did not find marked differences that justify the split of Feistmantel specimens into two species, *G. obovata* and *G. major*, after we analyzed in detail the specimens and arguments mentioned by Kovács-Endrödy (1977) in order to justify the status of *G. major* as a valid taxon. Thus, we consider that Feistmantel material should be transferred to *G. obovata*.



On the other hand, we admit that *G. obovata* and *G. cyclopteroides* comprise distinct species mainly due to a difference in the venation pattern of the median region of both forms. *G. obovata* median region comprises subparallel veins that open distally in a fan-shaped fashion (diffused median veins), whereas in *G. cyclopteroides* this region bears rectilinear subparallel veins which are relatively thicker and form elongated and rectangular meshes. These meshes are clear until the apex of the leaf, where they become more diffused. Other foliar features that distinguish both species are listed in the Table 1.

Class GYMNOSPERMOPSIDA Stewart & Rothwell, 1993

Order GLOSSOPTERIDALES Stewart & Rothwell, 1993

Genus *Gangamopteris* McCoy, 1847

Type-species *Cyclopteris angustifolia* McCoy, 1847 (*G. angustifolia* McCoy, 1875)

*Gangamopteris obovata* (Carr.) White, 1908

Figure 3

*Gangamopteris major* Feistmantel , in Feistmantel, 1879: p. 15, pl. XIV, fig. 3; pl. XVI, fig. 1, 2, 2a, 3.

*Gangamopteris major* Feistmantel , in Feistmantel, 1882: p. 38, pl. XV, fig. 13, 14; pl. XX, fig. 2.

*Gangamopteris major* Feistmantel , in Feistmantel, 1886: p. 33, pl. Va, fig. 9; pl. XIa, fig. 9.

*Glossopteris obovata* Kovács, in Kovács-Endrödy (1977): p. 31, fig. 7; p. 33, pl. I fig. 1,2; p.35, pl. II, fig. 1,2,3.

Additional material:

*Rubidgea obovata* (auct. non) Maithy, in Millan & Dolianiti, 1982: p. 58, 59, pl. 1, fig. 1-6.

*Rubidgea lanceolata* (auct. non) Maithy, in Millan & Dolianiti, 1982: p. 58, 59, 61, pl. 1, fig. 7.

Material described: DGP-MN 1358 Pb - A and B, 1373 Pb, 1374 Pb, 1526 Pb, 1533 Pb, 1535 Pb.

Description: The material comprises symmetric simple leaves, with entire margins (entire to slightly undulate at the tip), whose tips and bases are preserved and dimensions of the leaves range from nanophyllous to notophyllous. The shape of the lamina is obovate to oblanceolate, the apex is obtuse, the base is acute, but it is curled only in the specimen DGP-MN 1535 Pb, giving a false impression of a petiole. The length of the leaves varies from 4.8 cm (DGP-MN 1526 Pb) to 7.7 cm (DGP-MN 1373 Pb) and the width from 1.5 cm (DGP-MN 1526 Pb) to 3.5 cm (DGP-MN 1373 Pb). The median region of the leaves bears parallel and subparallel veins, which originate at the base of the leaves and reach the tip, forking and running without form a midrib, where they are more dispersed. The lateral veins fork, bending slightly to the margins of the base of the leaves, in angles from  $6^{\circ}$  to  $8^{\circ}$ , and bending markedly to the median and top portions of the leaves in angles from  $11^{\circ}$  to  $16^{\circ}$ . The rare anastomoses present along the lamina are originated from oblique connections, transversal connections and rarely from X-type connections, forming very elongated polygonal reticula.

Discussion: Once that all specimens previously assigned to *Rubidgea obovata* by Millan & Dolianiti (1982) were analysed, we observed that they displayed anastomoses among the veins, resulting in meshes, although in some cases these were very rare, apparently due to the poor state of preservation of the material. Thus, we are transferring these

specimens to the genus *Gangamopteris* because of the presence of reticulum, discussed previously in this paper (see Subitem *Gangamopteris* versus *Rubidgea*).

At specific level, the material we re-evaluated is comparable with the species *Gangamopteris cyclopteroides* Feistmantel (Feistmantel, 1879; Surange & Lele, 1955; Maithy, 1965b) due to the presence of an obtuse apex and the the shape of the lamina (oblanceolate). However, our specimens differ from *G. cyclopteroides* in having a median region bearing subparallel veins that originate at the base and extend until the tip of the leaf without originate a well-diferentiated set of median veins. The general shape of our specimens resembles that of *G. obovata* (Carr.)White (White, 1908; Millan, 1989, pl. I, fig. 3), *G. clarkeana* Feistmantel, *G. intermedia* Maithy and *G. obliqua* McCoy (according to Maithy, 1965b), but they are more similar to *G. obovata*. The features found in our material that support this comparison are: a) obovate to oblanceolate shape; b) obtuse tip and acute base; c) lateral veins fork several times and bend slightly to the margins at the base of the leaf and noticeably to the median and tip region of it; d) anastomoses are more frequent found next to the margins of the leaf, where veins are close to each other. The latter (d) is the key feature which distinguishes *G. obovata* from the other species. Because of all characters found in the study material are also diagnostic of *G. obovata*, it is justified their inclusion in this taxon.

*Gangamopteris buriadica* Feistmantel 1879

Figura 4 a, b, c, e

*Rubidgea itapemensis* Millan & Dolianiti, 1982: p. 61, 62, 63, pl. 2, fig. 4-7.

Material described: DGP-MN 1370 Pb - A and B, 1371 Pb - A and B, 1372 Pb - A and B.

Description: The material comprises symmetric simple leaves of microphyllous dimensions, with entire and parallel margins, but the apex is preserved in only two specimens (DGP-MN 1370 Pb, 1372 Pb) and the base is present in another one (DGP-MN 1371 Pb). The apparent shape of the lamina ranges from oblong to strictly oblong. The apex is rounded and truncate and the base is slightly acute. The length of the leaves varies from 4.2 cm (DGP-MN 1372 Pb) to more than 7.2 cm (DGP-MN 1371 Pb) and the width varies from 1.5 cm (DGP-MN 1371 Pb, 1372 Pb) to 1.6 cm (DGP-MN 1370 Pb). The median region bears parallel and subparallel veins, originated at the base of the leaf and extending until the tip of it. The parallel veins are almost erect and run subparallel to the central axis of the leaf, but bending a little towards the margins in angles from 5° to 9°, this bending is slightly more accentuated in the lower portions of the lamina, where the angles range from 12° to 14° degrees. The veins fork several times, but anastomoses are rare along the lamina. When present, the anastomoses are originated from oblique and transversal connections and rarely from X-type connections, forming very elongated and polygonal reticula (Figure 4 e).

Discussion: The specimens re-evaluated in this study show rare anastomoses among the veins, resulting in meshes or reticula and do not show evident median venation. Thus, we reallocated the specimens to the genus *Gangamopteris* in which this set of features are observed.

The median region of the material re-evaluated in this study is comparable to the same region in the following species of *Gangamopteris*: *G. buriadica* Feistmantel (Feistmantel, 1879; Dolianiti, 1954a), *G. buriadica* var. *acrodeltoides* Dolianiti (Dolianiti, 1954b) and *G. mosesi*. The comparison is possible due to the presence of parallel and subparallel veins that originate at the base of the leaf and extend until the apex, but also because of the presence of almost erect lateral veins. However, our

specimens differ from *G. buriadica* var. *acrodeltoides* and *G. mosesi* since they exhibit an oblong to strictly oblong shape of the lamina and a rounded and truncate apex. The material is different from *G. buriadica* var. *acrodeltoides* as well because of its symmetric leaves. On the other hand, our specimens are very similar to *G. buriadica* due to the slight acute base, truncate and rounded apex and median region bearing parallel and subparallel veins, besides almost erect lateral veins that bend slightly towards the margins of the leaf, markedly in the lower portions of the lamina. Considering the above mentioned structures, we included the study material in the species *G. buriadica* and considered *Rubidgea itapemensis* as a junior synonym of *G. buriadica*, once there are no type specimens left from those mentioned in Millan & Dolianiti (1982) that can be attributed to a distinct or new species.

It is important to highlight that the classification of *G. buriadica* was considered dubious by some authors, such as Arber (1905) and Maithy (1998). The latter suggested the inclusion of this species in the new genus *Karharbariphyllum*, a form that resembles *Noeggerathiopsis*, but exhibits connections among the veins in a similar fashion to that of *Gangamopteris*. In fact, Maithy (1998) erected *Karharbariphyllum* with the aim of grouping leaves of *G. buriadica* that according to him bear characteristics of both genera (*Noeggerathiopsis* and *Gangamopteris*). In the present work, we decided to keep *G. buriadica* in the genus *Gangamopteris* because we believe that the presence of erect subparallel median veins that do not anastomose frequently is not enough to establish a new genus, like proposed by Maithy (1998). Besides this, Iannuzzi et al. (*submitted*) demonstrated that the curling of the lamina in *G. buriadica* prevents the determination of the true venation pattern and shape of this kind of leaf.

## Figure 4d, f

*Rubidgea lanceolata* var. *truncata* (Maithy) Millan & Dolianiti, 1982: p. 61, 62, 63, pl. 2, fig. 1-3.

Material described: DGP-MN 1366 Pb - A and B.

Description: The material comprises symmetric simple leaves with entire margins, apex and median region present, but the base is absent. The lamina which is curled seems to be lanceolate; the apex is acute. The leaf is 14.5 cm long and 3.0 cm wide. The median region bears subparallel veins that extend along the whole blade. The lateral veins bend to the margins in angles from 6° to 12° and they fork several times, specially next to the margins where not so frequently anastomoses are found. These seem to be formed only by oblique and transversal connections. The reticula exhibit polygonal shapes and are very elongated (Figure 4 f).

Observations: Since the leaf was curled in the median portion of it, the shape of the limb as described here is merely suggestive. The curling of lamina can be seen when analyzing the basal part of the specimen which has an arc formed by the continuity of the lateral margins of the lamina that fold toward the central portion of the leaf (Figure 4 d, f); a noticeable feature observed in both portions of the specimen, e.g. part and counterpart.

Discussion: When the material identified as *Rubidgea lanceolata* var. *truncata* by Millan & Dolianiti (1982) was re-evaluated, it became clear that it presented anastomoses which formed reticula along the blade, although they were very rare. Because of this reason, we transferred this material to the genus *Gangamopteris* (see “*Gangamopteris* versus *Rubidgea*”). Therefore, the variety erected by Millan & Dolianiti (1982) is not valid, since it displays characters not found in the forms included in *Rubidgea*.

At specific level, the study specimen resembles the species *Gangamopteris mosesi* Dolianiti (Archangelsky, 1957) and *G. angustifolia* McCoy (Feismantel, 1879; Dolianiti, 1954a; Archangelsky, 1957; Plumstead, 1962; Rigby & Chandra, 1990) regarding the blade morphology. However, it differs from *G. mosesi* in having subparallel veins and very elongated polygonal reticula in the median region. It is also distinct from *G. angustifolia* due to the presence of symmetric leaf and very elongated polygonal reticula. Besides, none of the above mentioned species display a curled leaf lamina. Nevertheless, this curling is a diagnostic feature of the species *Gangamopteris revoluta* Tybusch & Iannuzzi (Tybusch & Iannuzzi, 2008), and the study material seems to share other similar characteristics with it, such as the lanceolate shape of the blade and the median region bearing subparallel veins and meshes formed by very elongated polygonal reticula. Yet, the specimen discussed here is poorly preserved and other structures like the basal portion of the leaf and details of the venation could not be observed. For this reason, we assigned it to *Gangamopteris* cf. *G. revoluta*, until more complete specimens are recovered from this locality in the future.

## 5. Discussion

In the present contribution, all specimens previously assigned to *Rubidgea* from the Cerquilho locality were re-evaluated and transferred to the genus *Gangamopteris*. In addition, we included the study material in one of the following morphospecies: *Gangamopteris obovata*, *G. buriadica* or *Gangamopteris* cf. *G. revoluta* (Table 2).

We would like to highlight that the three *Gangamopteris* species found in Cerquilho Velho are also known from Early Permian deposits of Rio Grande do Sul, according to Tybusch & Iannuzzi (2008). These authors when re-evaluating the forms assigned to *Rubidgea* in that state, also transferred all of them to the genus

*Gangamopteris*, due to the same reasons discussed for the specimens from Cerquilha Velho. Thus, we verified that there is a great similarity between the gangamopterid leaves from the Cerquilha deposit and the levels N3 and N4 of the Morro do Papaléo outcrop, in Mariana Pimentel municipality, Rio Grande do Sul state (Tabela 2), which corresponding to the upper part of Itararé Group (Iannuzzi et al., 2003a, b; 2006). Cerquilha Velho and localities in the Rio Grande do Sul are also similar when floristic elements are compared, remarkably the abundance of the sphenophyte *Phyllothea* and the presence of the genus *Stephanophyllites* (Table 3).

On the other hand, the flora from Cerquilha differs from that of Mariana Pimentel levels concerning specially the morphospecies of seed (Table 3), since many of them are endemic (Bernardes-de-Oliveira et al., 2007). Another difference is the almost complete absence of leaves of the type *Glossopteris* in such a way that only one specimen belonging to this genus was reported preliminarily to this flora (Iannuzzi & Rohn, 1995). Although *Glossopteris* leaves are not easily found in the deposits of the Itararé Group in Morro do Papaléo, they are rather common in these levels but not diversified, being usually represented by *G. communis* (Iannuzzi et al., 2003a, b; 2006). Also, the relatively common presence of *Botrychiopsis plantiana* in the taphofloras of Rio Grande do Sul is another important floral difference (Iannuzzi et al., 2003a, b; 2006).

When we compare the Cerquilha flora with those of the Itararé Group from Rio Grande do Sul, a poor correlation is verified (Table 3). This can be explained by the reduced knowledge concerning the floristic composition of these outcrops in relation to that of Morro do Papaléo, for example. In the future, when a better understanding of the flora from Cerquilha is reached, through an improvement in collections, it might be verified a higher level of affinity between this flora and those from Rio Grande do Sul.



At the moment, we can state that there is some similarity between the floras of Cerquilho and the upper levels of Itararé in the Morro do Papaléo.

Regarding the stratigraphic position of Cerquilho in the units of the Paraná Basin, the correlation based in plant megafossils seems of little help to answer this question. Nearly all taxa reported for Cerquilho, except by those endemic for this locality, are also found in Rio Grande do Sul in strata from the top of the Itararé Group until the mid-upper portion of the overlying Rio Bonito Formation (Table 3). The only striking exception is the stratigraphic distribution of the morphogenus *Stephanophyllites*, restricted until now to the top of the Itararé Group in Rio Grande do Sul (Table 3). The sphenopsid forms attributed to *Stephanophyllites* were also reported from Bajo de Veliz, northern Argentina, in strata considered correlated to those of the Itararé Group (Césari and Hünicken, 1991). If this morphogenus was assumed to be an index-fossil for the pre-Rio Bonito Permian interval, we could conclude that Cerquilho is equivalent to other deposits found on the top of the Itararé Group in the basin, solving the puzzle concerning the stratigraphic position of this locality. However, we hesitate to attribute such a high biostratigraphic value to a single taxon, particularly when precisising in the stratigraphic position of an outcrop depends on the comparison with others distant more than a thousand kilometers from it.

About the use of glossopterid leaves for biostratigraphic purposes, it was observed that the dominance of *Gangamopteris* leaves over those of the *Glossopteris* type is a common feature of the floras from Cerquilho and the top of the Itararé Group in Rio Grande do Sul (Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig, 1993; Iannuzzi et al., 2006; 2007). It is also known that locally the *Gangamopteris* leaves are more abundant in some specific sites and/or beds of the Rio Bonito Formation, due to taphonomic bias (Iannuzzi et al., 2006; Tybusch *et al.*, submitted). However, when the units are analysed

as a whole, *Glossopteris* leaves increase in frequency and diversify inside the Rio Bonito Formation, contrasting with the dominance of *Gangamopteris* leaves and the low diversity of *Glossopteris* in assemblages from the upper Itararé Group. In fact, the dominance of *Gangamopteris* is a recurrent feature of all the basal Gondwanan floras and it has been used to characterize the oldest associations of the “*Glossopteris* Flora” found in the beginning of the Permian (Retallack, 1980; Anderson and Anderson, 1985; Archangelsky *et al.*, 1996; Maheshwari and Bajpai, 2001; Iannuzzi and Souza, 2005). For this reason, it is possible to say that Cerquillo flora is more closely related to the floras of the top of the Itararé Group.

Anyway, the re-evaluation and consequent assignment of the material from São Paulo to *Gangamopteris* spp. made possible a more direct correlation among the Early Permian deposits of the north and south portions of the Paraná Basin based on megafloristic comparisons. However, more studies need to be conducted in order to establish the utility of plant megafossils in solving stratigraphic problems.

## 6. Conclusions

The presence of forms assigned to the morphogenus *Rubidgea* in the Paraná Basin after the work Tybusch & Iannuzzi (2008) was restricted basically to the report of Millan & Dolianiti (1982) for the deposits on top of the Itararé Group, Cerquillo municipality, São Paulo, dated of the beginning of the Early Permian (Sakmarian?). In the present study, we observed that the specimens described and identified as *Rubidgea* by Millan & Dolianiti (1982) exhibited anastomoses along the blade, despite being a rare feature. Because this characteristic is not found in the original diagnosis of the genus *Rubidgea*, but in that of *Gangamopteris*, all the material studied by Millan & Dolianiti (1982) was transferred to the latter. Thus, we believe that the genus *Rubidgea*

is absent in the Permian deposits of the São Paulo state, as well as in those from Rio Grande do Sul. The only record left of the genus in the Paraná Basin is that of Rohn et al. (2000) for the Carboniferous-Permian interval strata of Tietê, São Paulo state. The material comprises two illustrated forms classified as *Rubidgea* sp. However, when the photos published by the authors (Rohn et al., op. cit. p. 60, pl. I, figs. 2 and 4) were analysed, we noticed that these specimens were poorly preserved, resulting in an unclear venation pattern, what makes difficult or even impossible to observe anastomoses, specially if they are rare. This can lead to misinterpretations of the venation pattern of the specimens, like those mentioned in Kovács-Endrödy (1977) for South African forms. Because of this, we preferred to consider the occurrence of *Rubidgea* as dubious for the material published in Rohn et al. (2000). For instance, there is strong evidence suggesting that the morphogenus *Rubidgea* is not present in the deposits of the Paraná Basin, since all previous occurrences based on well preserved specimens were refuted.

Some authors (Arber, 1905; Seward, 1907; Kovács-Endrödy, 1977) believed that the morphogenus *Rubidgea* was not valid. Here we speculate that those who erected new species/varieties for this genus or pointed its occurrence made it due to misinterpretations (i.e. Tate, 1867; Maithy, 1965a; Cazzulo-Klepzig et al., 1980; Guerra-Sommer et al., 1980; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1981; Millan & Dolianiti, 1982). But, it will be necessary a careful revision of the Indian specimens described by Maithy (1965a), in order to conclude if the genus is valid or not.

The authors of the present study believe that the existence of preservational distortions can hide diagnostic features such as the presence or absence of anastomoses. Thus, we consider *Gangamopteris* and *Glossopteris* the only valid genera of glossopterid leaves for the Paraná Basin until the moment. To conclude, we recommend extreme care when identifying genera of leaves of this group in future works.

## Acknowledgments

The authors thank the “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq) and “Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul” (FAPERGS) for financial support through scholarships and grants (processes 130053/2005-8, 483463/2007-8, PQ309322/2007-3, PQ305687/2010-7 and PqG 10/1584-6), which were vital for conducting this work. The authors also thank the geologist Eduardo Premaor (PPGGeo-UFRGS) for elaborating Figure 1 and Alessandra D. S. Boos for the English version of the final manuscript.

## References

- Anderson, J.M., Anderson, H.M., 1985. Paleoflora of Southern Africa. Prodrumus of South African Megafloras, Devonian to lower Cretaceous: Rotterdam, A. A. Balkema.
- Arber, E.A.N., 1902. The Clarke collection of fossil plants from New South Wales. Quarterly Journal of the Geological Society South Afrika, 58, 1-26.
- Arber, E.A.N., 1905. Catalogue of the Fossil Plants of the *Glossopteris* Flora. Department of Geology, British Museum, London.
- Archangelsky, S., 1957. Las glossopterideas del Bajo de la Leona. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 12(3), 135-166.
- Archangelsky, S., González, C.R., Cúneo, N.R., Sabattini, N., Césari, S.N., Aceñolaza, F.G., Garcia, G.B., Buatois, L.A., Ottone, E., Mazzoni, A.F., Hünicken, M.A., Gutiérrez, P.R., Eds., 1996. El Sistema Permico en la Republica Argentina y en la Republica Oriental del Uruguay: Córdoba, Academia Nacional de Ciencias.

- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Castro-Fernandes, M.C., Tewari, R., Ricardi-Branco, F. 2007. Platyspermic seeds from the Early Permian of Paraná Basin, Brazil. *The Palaeobotanist*, 56, 1-19.
- Cazzulo-Klepizig, M., Guerra-Sommer, M., Bossi, E.G., 1980. Revisão fitoestratigráfica do grupo Itararé no Rio Grande do Sul. I. Acampamento Velho, Cambaí Grande, Budó e Morro do Papaléo. *Boletim do Instituto de Geociências*, 11, 55-75.
- Césari, S. N., Hünicken, M., 1991. *Stephanophyllites sanpaulensis* Millan y Dolianiti, un nuevo integrante de las floras Neopaleozóicas de la Argentina. *Academia Nacional de Córdoba, Miscelanea*, 83, 3-9.
- Chandra, S., Surange, K.R., 1979. Revision of the Indian species of *Glossopteris*. Monograph, Birbal Sahni Institute of Palaeobotany (unpublished).
- Dolianiti, E., 1954a. *Gangamopteris angustifolia* e *Gangamopteris buriadica* na Formação Maricá do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, 1-6 (Notas Preliminares e Estudos 87).
- Dolianiti, E., 1954b. A flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina V – gênero *Gangamopteris*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, 1-12 (Notas Preliminares e Estudos 89).
- Feistmantel, O., 1879. Fossil Flora of the Gondwana System. I.(suppl.) - The flora of the Talchir-Karharbari beds. *Memoirs of the Geological Survey of India, Palaeontologia Indica*, series 12, 3, 1-64.
- Fulfaro, V.J., Perinotto, A.J., Barcelos, J.H., 1991. Formação Tietê: o pós-glacial no Estado de São Paulo. *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 2, Atas, São Paulo, SBG, 397-404.

- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Marques-Toigo, M., 1980. Revisão fitoestratigráfica do grupo Itararé no Rio Grande do Sul. III- Área de Faxinal, Município de Guaíba, Rio Grande do Sul. Boletim do Instituto de Geociências, 11,76-84.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., 1981. A tafoflora do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul: sua importância bioestratigráfica no Gondwana Sul-Brasileiro: In: Congresso Latino-Americano Paleontologia, 2, Anais, Porto Alegre, UFRGS, 127-140.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., 1993. Biostratigraphy of the Southern Brazilian Neo Paleozoic Gondwana Sequence: a preliminary palaeobotanical approach. Douzième International Congrès de la Stratigraphie et Géologie du Carbonifère et Permien: Comptes rendus, Buenos Aires, 2, 61–72.
- Iannuzzi R., Rohn R., 1995. Discussão sobre a presença do gênero *Glossopteris* na tafoflora Cerquilha (Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Estado de São Paulo) e seu possível significado biocronoestratigráfico. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 14, Atas, Uberaba, 62–63.
- Iannuzzi, R., Souza, P. A., 2005. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: An up-to-date overview: New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin 30, 144-149.
- Iannuzzi, R., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Pilai, S. Submitted. An emended diagnosis of *Gangamopteris buriadica* Feistmantel from Permian of India. Geologia USP.
- Iannuzzi, R., Marques-Toigo, M., Scherer, C.M.S., Caravaca, G., Vieira, C.E.L., Pereira, L.S., 2003a. Reavaliação da fitobioestratigrafia da seqüência gondwânica sul-riograndense: estudo de caso do afloramento Morro do Papaléo (Bacia do

- Paraná, Permiano Inferior). In: Encontro Sobre Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias, 1, Anais, Porto Alegre, UFRGS, 182-185.
- Iannuzzi, R., Marques-Toigo, M., Scherer, C.M.S., Caravaca, G., Vieira, C.E.L., Pereira, L.S., 2003b. Phytobiostratigraphical revaluation of the southern Brazilian Gondwana sequence (Paraná Basin, Lower Permian): In: International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy, 15, Abstracts, Utrecht, 240-242.
- Iannuzzi, R., Scherer, C.M.S., Souza, P.A., Holz, M., Caravaca, G., Adami-Rodrigues, K., Tybusch, G.P., Souza, J.M., Smaniotto, L.P., Fischer, T.V., Silveira, A.S., Lykawka, R., Boardman, D.R., Barboza, E.G., 2006. Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná. In: C. Schobbenhaus et al. (eds.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Volume II. <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio101/sitio101.pdf>>
- Iannuzzi, R., Scherer, C.M.S., Caravaca, G., 2007. Taphonomy and paleoecology of the southern Brazilian Glossopteris Flora (Paraná Basin, Lower Permian). In: Díaz-Martínez, E., Rábano, I. (Eds.), 4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid: Cuadernos del Museo Geominero, 8, pp. 201–206.
- Kovács-Endrödy, E., 1977. The taxonomic status of the genus *Rubidgea*. *Bothalia*, 2(12), 313-317.
- Maheshwari, H., Bajpai, U., 2001. Phytostatigraphical Succession in the *Glossopteris* Flora of India: Revista Universidade Guarulhos, Geociências, 6, 22-34.
- Maithy, P.K., 1965a. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 17. On the genus *Rubidgea* Tate. *The Palaeobotanist*, 13(1), 42-43.

- Maithy, P.K., 1965b. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 26. Glossopteridales from the Karharbari beds, Giridih coalfield, India. *The Palaeobotanist*, 13(1), 248-263.
- Maithy, P.K., 1966. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 32. On the genus *Gangamopteris* McCoy. *The Palaeobotanist*, 14(1-3), 46-51.
- Maithy, P.K., 1998. Morphotaxonomic re-evaluation of *Gangamopteris(?) buriadica* Feistmantel. *Journal of the Palaeontological Society of India*, 43, 85-88.
- Martini, P., Rocha-Campos, A.C., 1991. Interglacial and early post - glacial, Lower Gondwana coal sequences in the Paraná Basin, Brazil. In: International Gondwana Symposium, 7, Proceedings, São Paulo: IG -USP/ FAPESP, 317-336.
- McCoy, F., 1847. On the fossil botany and zoology of the rocks associated with the coal of Australia. *The Annals and Magazine of Natural History*, 20(132), 145-157.
- McCoy, F., 1875. Prodomus of the Palaeontology of Victoria. Geological Survey of Victoria, Dec. II, 1-37.
- Millan, J.H., Dolianiti, E., 1982. Sobre a presença do gênero *Rubidgea* no Eogondwana de Cerquilha, Subgrupo Itararé de São Paulo. *Boletim do Instituto de Geociências*, 13, 43-134.
- Millan, J.H., 1989. Sobre a presença de formas foliares mais primitivas de glossopterídeas (gênero *Gangamopteris* no Município de Cerquilha, carvão do Eogondwana do Estado de São Paulo). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 61(2), 201-213.
- Nagalli, J.T., Consoni, J.O.C., 1984. Comportamento faciológico do intervalo que encerra as camadas de carvão na região de Cerquilha. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Anais, Rio de Janeiro, SBG 2, 914-982.



- Perinotto, J.A., 1987. Análise estratigráfica da seqüência portadora de carvão na região de Cerquillo (SP). Msc. Dissertation, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (unpublished).
- Plumstead, E. P., 1962. Fossil floras of Antarctica. Trans-Antartic Expedition, Scientific Reports, 9, 7-153.
- Retallack, G.J., 1980. Late Carboniferous to Middle Triassic megafossil floras from the Sydney Basin, in Herbert, C., Helby, R., (Eds.), A guide to the Sydney Basin: Bulletin Geological Survey of New South Wales, pp. 384-430.
- Rigby, J.F., Chandra, S., 1990. Revision of the Permian Gondwana flora from Bacchus Marsh, Victoria. Iop Conference, 3, Proceedings, Melbourne, 107-113.
- Rocha-Campos A.C., Canuto J.R., Santos P.R., 2000. Late Paleozoic glaciotectionic structures in northern Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology* 130, 131-143.
- Rohn, R., Babinski, M.E.C.B., Rösler, O., 1984. *Glossopteris* da Formação Rio do Rasto no sul do estado do Paraná: XXXIII Congresso Brasileiro De Geologia, Anais, Rio de Janeiro, 1047-1061.
- Rohn R., 1987. A Flora de *Glossopteris* primitiva de Cerquillo Velho, Formação Tietê, Permiano Inferior, SP, Brasil: Guia da Excursão. *Paleobotânica Latinoamericana* 8(1), 25-30.
- Rohn, R., Longhim, M.E., Bernardes-de-Oliveira, M.E., Navarro, G.R.B., 2000. Nova ocorrência fitofossilífera Neocarbonífera-Eopermiana do Subgrupo Itararé, à margem esquerda do Rio Capivari, município de Tietê, SP, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, 5, 57-61.
- Santos P.R., Rocha-Campos A.C., Canuto J.R., 1996. Patterns of Late Paleozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 125(1/4), 165-184.

- Seward, A.C., 1907. Permo-Carboniferous plants from Kashmir. Record Geological Survey of India, 36, 481-487.
- Seward, A.C., 1910. Fossil Plants. Cambridge, Cambridge University Press.
- Stewart, W.N., Rothwell, G.W., 1993. Paleobotany and the evolution of plants. Cambridge, Ed. Cambridge University Press.
- Surange, K.R., Lele, K.M., 1955. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 3. Plant fossils from the Talchir Needle Shales from Giridih coalfield. The Palaeobotanist, 4, 153-157.
- Surange, K.R., Srivastava, P.N., 1956. Studies in the *Glossopteris* flora of India – 5. Generic status of *Glossopteris*, *Gangamopteris* and *Palaeovittaria*. The Palaeobotanist, 5(1), 46-49.
- Tate, R., 1867. On some secondary fossils from South Afrika. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, 23, 139-174.
- Tybusch, G.P., Iannuzzi, R., 2008. Reavaliação taxonômica dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia 11 (2), 73-86.
- Tybusch, G.P., Iannuzzi R., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Cunha Lopes, R. Submitted. Reevaluation of the glossopterids from Cambaí Grande Outcrop, RS (Lower Permian of Paraná Basin). Geologia USP.
- Walkom, A.B., 1922. Paleozoic floras of Queensland. Part I. The flora of the Lower and Upper Bowen series. Queensland Geological Survey, 270, 1-64.
- White, D., 1908. Fossil Flora of the Coal Measures of Brazil. In: White I.C., Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil, Relatório Final, 558-568.
- Zeiller, R., 1896. Note sur Flore Fossile des Gisements Houillers de Rio Grande do Sul (Bresil Meridionale). Bulletin de la Societe Geologique de France, 3 (23), 601-629.

## Table and Figure captions

Table 1. Comparison of diagnostic features between *G. obovata* (Carr.) White and *G. cyclopteroides* Feistm.

Table 2. Taxonomic reinterpretation of specimens previously published within the genus *Rubidgea* by Millan and Dolianiti (1982) as proposed herein.

Table 3. Correlation amongst the floral content from Cequilha Velho outcrop, in São Paulo State, and the others from outcrops situated in approximately at the same stratigraphic interval, e.g. Lower Permian, in Rio Grande do Sul State. The three taxa determined herein are highlighted in gray background.

Figure 1. Location map (A) and stratigraphic profile (B) of the Cerquilha Velho outcrop, in Cerquilha, São Paulo State.

Figure 2. Three categories of anastomoses present in glossopterid leaves: A) oblique cross-connection; B) transverse cross-connection; C) X-type cross-connection (from Tybusch & Iannuzzi, 2008).

Figure 3. *Gangamopteris obovata* (Carr.) White. Details of venation pattern showing the rare anastomoses of veins (white arrows) present on leaf laminae from the following specimens: A) DGP-MN 1526 Pb, B) DGP-MN 1374 Pb, C) DGP-MN 1373 Pb, D) DGP-MN 1358 Pb. Scale bars = 0.5 cm.

Figure 4. *Gangamopteris buriadica* Feistmantel. General view of leaf fragments showing the oblong-shape laminas and rounded and truncate apexes of specimens: A) DGP-MN 1370 Pb, B) DGP-MN 1371 Pb, C) DGP-MN 1372 Pb; E) detail of venation pattern showing the rare anastomoses of veins (white arrows) present on leaf lamina of specimen DGP-MN 1370 Pb. *Gangamopteris* cf. *G. revoluta* Tybusch & Iannuzzi. General view of leaf fragment (D) and detail of basal third of leaf showing the lateral margins of the lamina (white arrows) that fold toward the central portion of the leaf (F), both from specimen DGP-MN 1366 Pb. Scale bars = 1 cm.

Table 1.

<i>G. obovata</i> (Carr.) White	<i>G. cyclopteroides</i> Feistm.
1. Oblanceolate shape	1. Oblanceolate to lanceolate shape
2. Margin outline entire to slightly undulate	2. Margin outline entire
3. Narrow tapering base	3. Gradually tapering base
4. Maximum width above 1/2 length of the leaf	4. Maximum width at 1/2 length of the leaf
5. Median veins ill-defined (diffused)	5. Median veins clear and robust

Table 2.

Conversion of specimens		
Collection DGP-MN	Millan and Dolianiti (1982)	Present contribution
1358 Pb	<i>Rubidgea obovata</i>	
1373 Pb	<i>Rubidgea lanceolata</i>	
1374 Pb	<i>Rubidgea obovata</i>	<i>Gangamopteris obovata</i>
1526 Pb	<i>Rubidgea obovata</i>	
1533 Pb	<i>Rubidgea obovata</i>	
1535 Pb	<i>Rubidgea obovata</i>	
1366 Pb	<i>Rubidgea lanceolata</i> var. <i>truncate</i>	<i>Gangamopteris</i> cf. <i>G.</i> <i>revoluta</i>
1370 Pb	<i>Rubidgea itapemensis</i>	
1371 Pb	<i>Rubidgea itapemensis</i>	<i>Gangamopteris buriadica</i>
1372 Pb	<i>Rubidgea itapemensis</i>	

Table 3.

São Paulo State	Rio Grande do Sul State					
	Cerquillo Velho	Itararé Group			Rio Bonito Fm.	
Acampamento Velho		Faxinal	Morro do Papaléo (N3/4)	Cambaí Grande	Quitéria	Morro do Papaléo (N7/8)
<i>Phyllothea australis</i> (= <i>P. indica</i> )	?	?	X	-	X	-
<i>Stephanophyllites</i> <i>sanpaulensis</i>	-	-	cf.	-	-	-
<i>Paracalamites australis</i> (= <i>P. levis</i> / <i>P.</i> <i>montemorensis</i> )	?	?	X	-	X	-
<i>Gangamopteris obovata</i>	X	X	X	X	-	X
<i>G. buriadica</i>	X	-	X	-	X	-
<i>Gangamopteris</i> cf. <i>G.</i> <i>revoluta</i>	X	-	X	X	-	X
<i>Glossopteris</i> sp.	?	?	X	X	X	X
<i>Cordaïtes</i> sp.	?	?	X	?	?	X
“Fertiliger” tipo <i>Brasiloide</i>	-	-	cf.	-	-	cf.
<i>Arberia minasica</i>	-	-	-	-	-	X
<i>Arberia</i> sp.	-	-	X	-	-	X
<i>Arberiosis (Samaropsis)</i> <i>rigbyi</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Arberiosis</i> sp.	-	-	-	-	-	-
<i>Samaropsis cerquilhensis</i>	-	-	-	-	-	-
<i>S. dolianitii</i>	-	-	X	-	-	-
<i>S. goraiensis</i>	-	-	-	-	-	-
<i>S. moreirana</i>	-	-	X	-	-	-
<i>S. rigbyi</i>	-	-	X	-	-	-
<i>S. rohnii</i>	-	-	-	-	-	-
<i>S. rugata</i>	-	-	-	-	-	-
<i>S. tietensis</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Cordaicarpus brasilianus</i>	-	-	cf.	-	-	cf.
<i>Cordaicarpus nitens</i> (= <i>Eucerospermum nitens</i> )	-	-	-	-	-	-

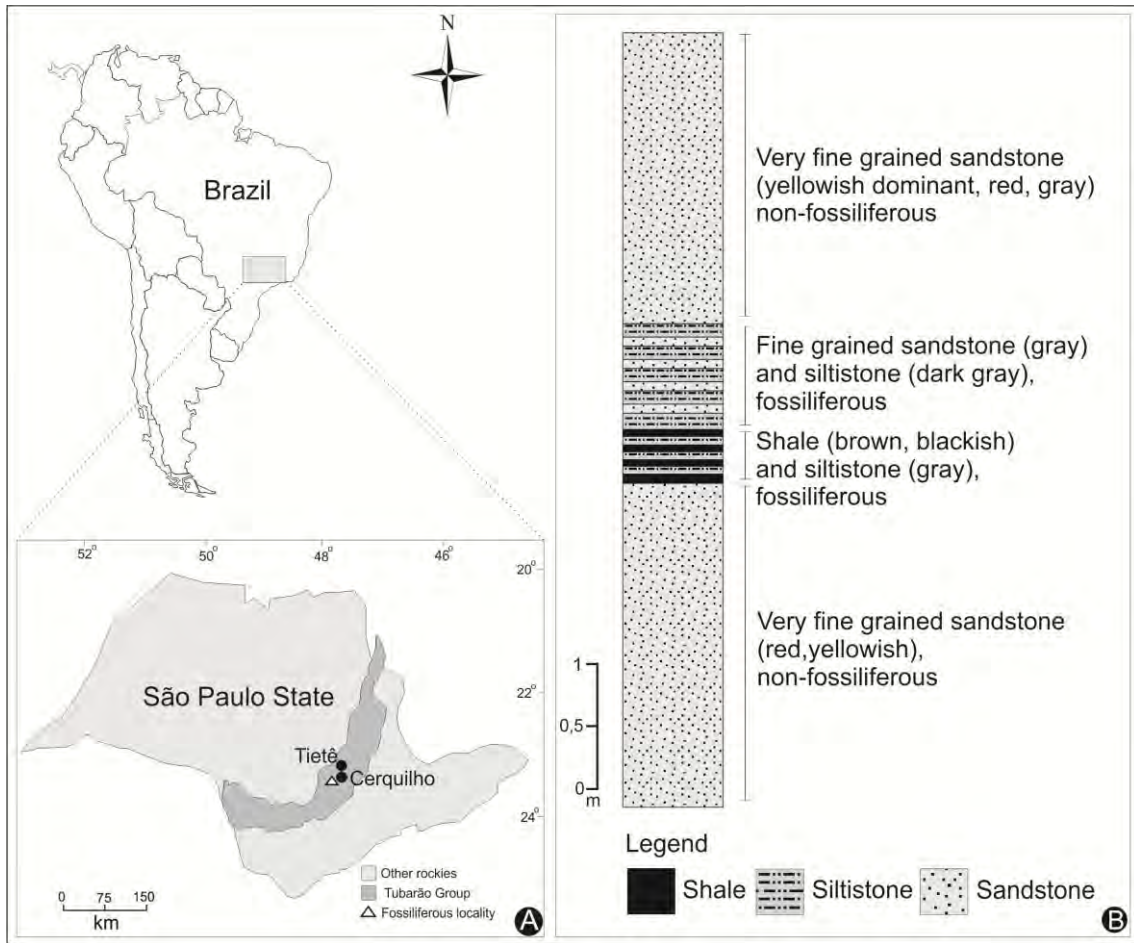


Figure 1



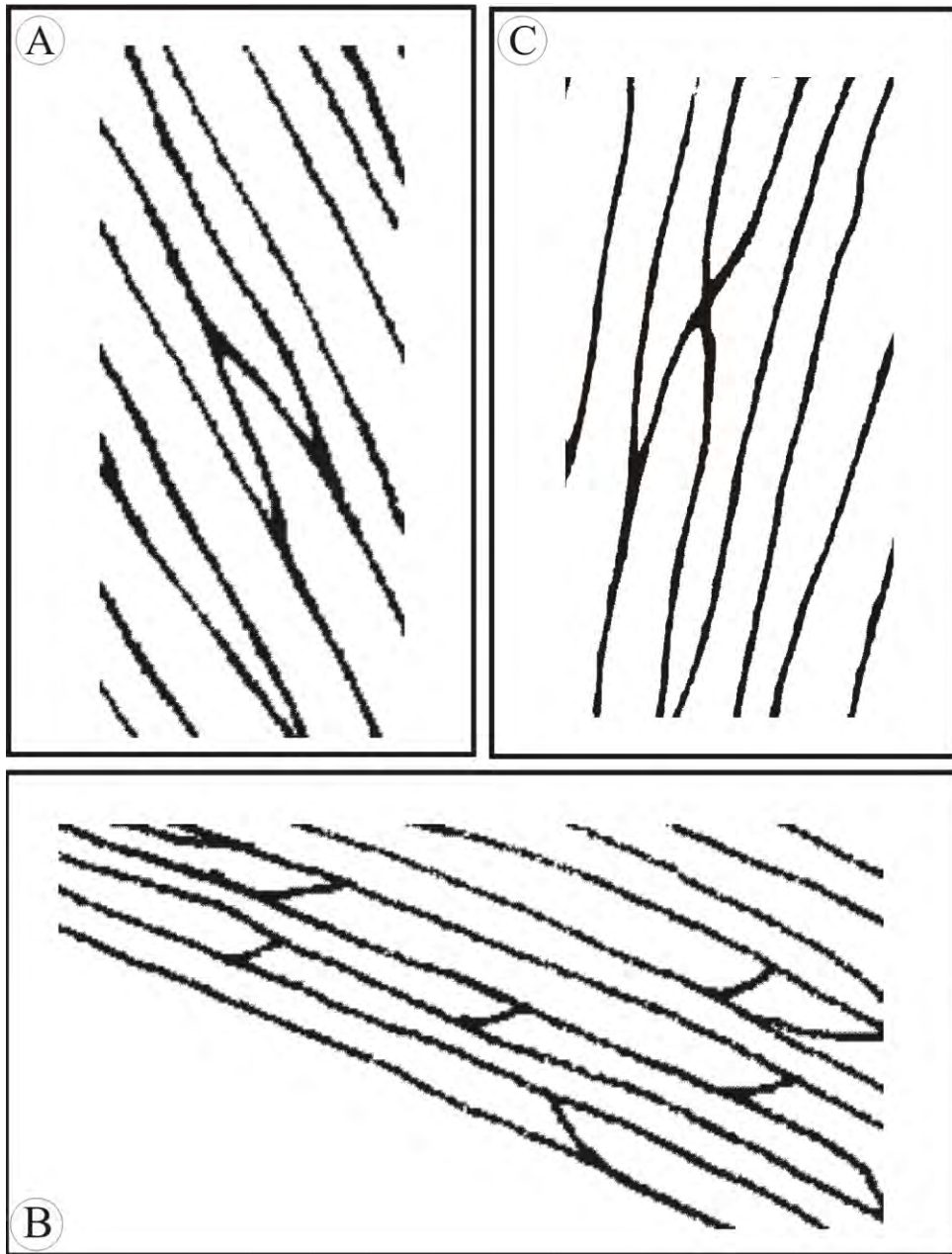


Figure 2



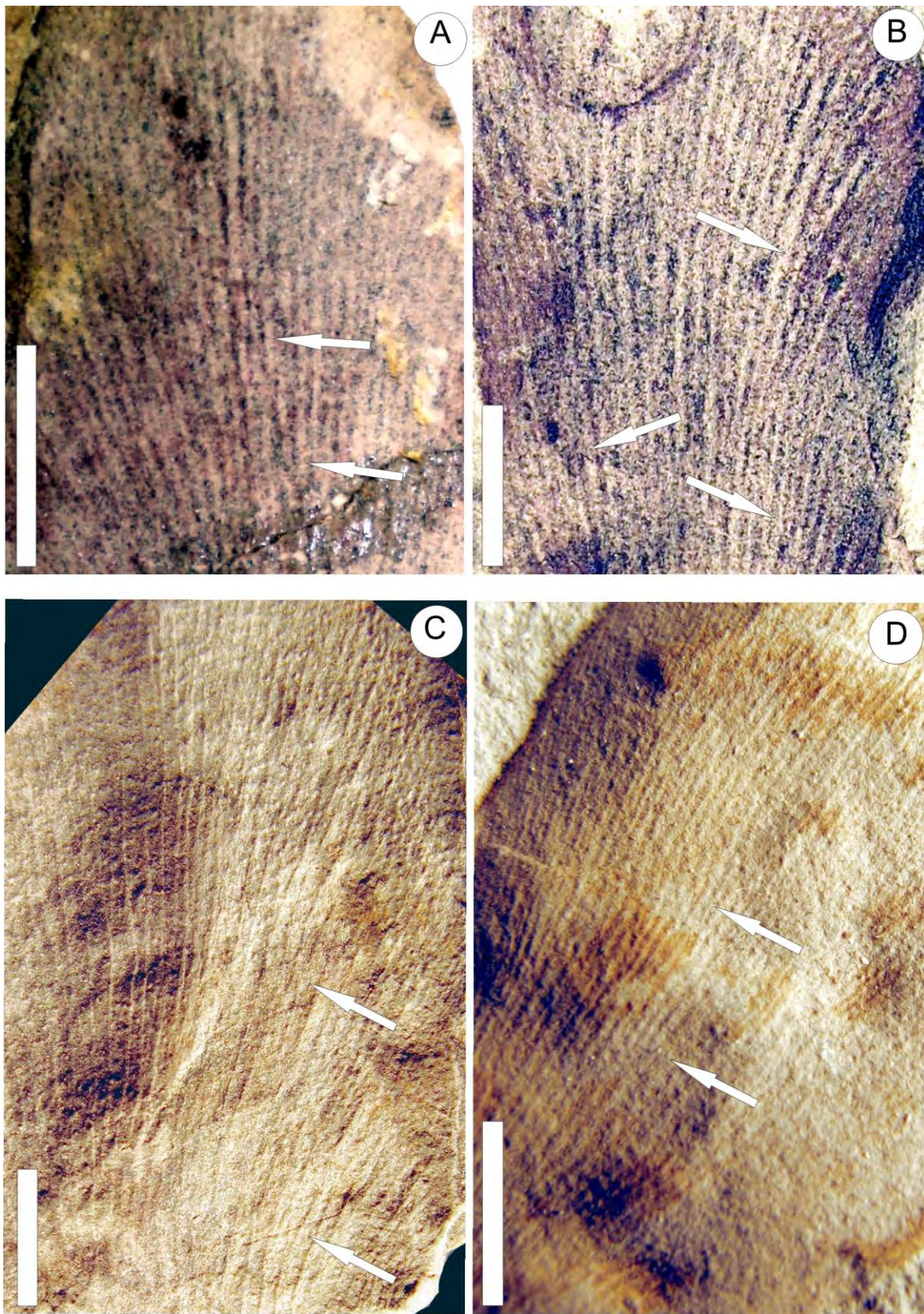


Figure 3



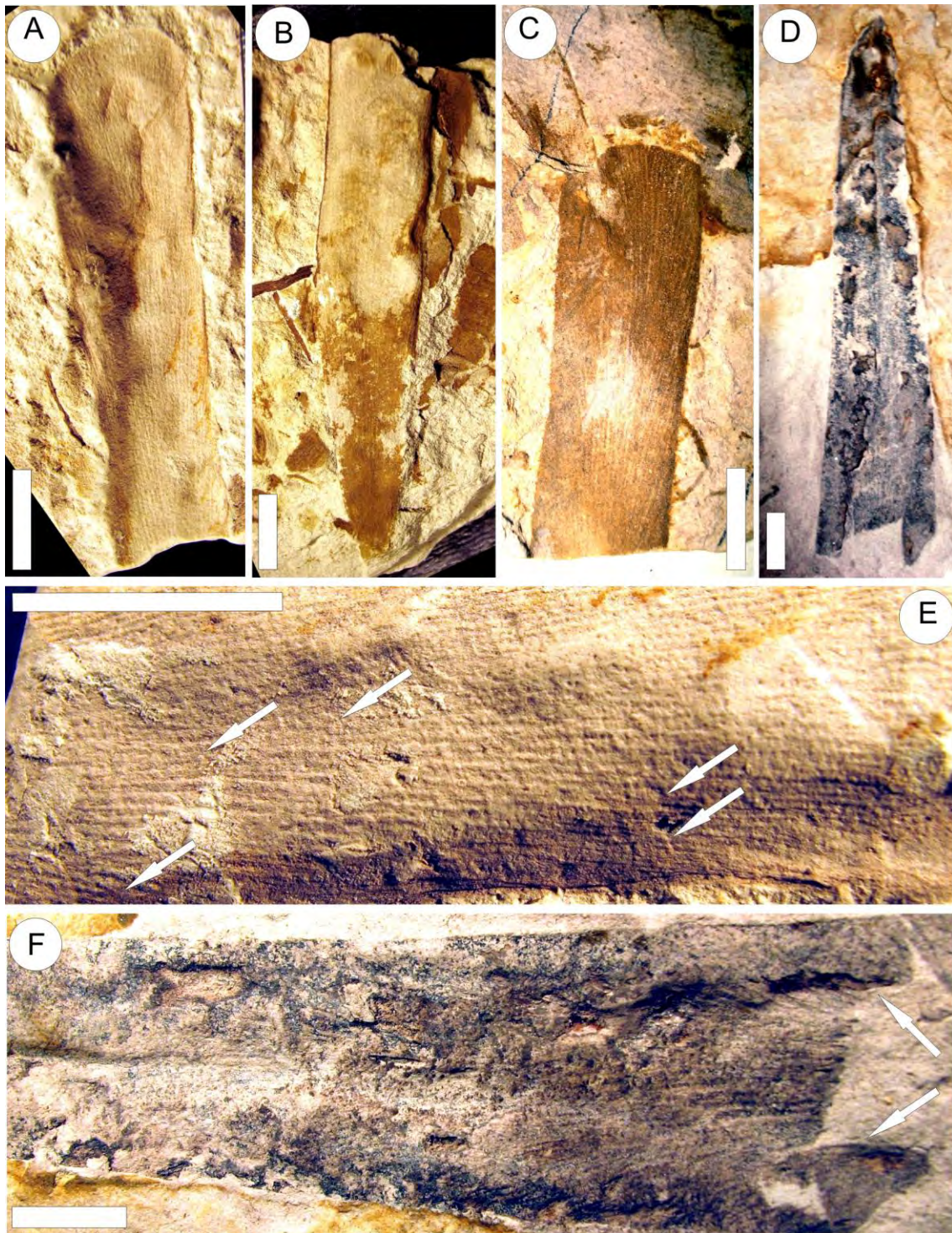


Figure 4

## **PARTE III**

### **Anexos**

**Manuscritos em co-autoria e cartas de submissão**

## **Anexo A**

“Presença de *Glossopteris browniana* no topo do afloramento Quitéria, no Rio Grande do Sul (Permiano Inferior, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná)”.

Boardman, D.R., Tybusch, G.P., Iannuzzi, R., Dutra, T.L. & De Lima. *Gaea*, 2: 9-17. 2006.

# Presença de *Glossopteris browniana* Brongniart em níveis do topo do afloramento Quitéria (Formação Rio Bonito), Rio Grande do Sul, Brasil (Permiano Inferior)

## **Daiana Rockenbach Boardman**

Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS  
daiana.boardman@gmail.com

## **Graciela Pereira Tybusch**

Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS  
gracielatybusch@yahoo.com.br

## **Roberto Iannuzzi**

Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS  
roberto.iannuzzi@ufrgs.br

## **Tânia Lindner Dutra**

Programa de Pós-Graduação em Geologia, UNISINOS, Av. Unisinos, 950, CEP 93022-000  
tdutra@unisinos.br

## **Lorelai de Lima**

Curso de Geologia, UNISINOS, Av. Unisinos, 950, CEP 93022-000  
lorelaigeo@yahoo.com.br

### **RESUMO**

Novas amostras de restos vegetais coletados no topo do afloramento Quitéria, município de Pantano Grande, Rio Grande do Sul, permitiram a identificação pela primeira vez para estes níveis, de *Glossopteris browniana*, estendendo a distribuição estratigráfica deste táxon até a Subzona *Botrychiopsis valida*. Neste trabalho, *G. browniana* é sugerida como restrita aos níveis da Formação Rio Bonito, cuja idade foi recentemente estabelecida como correspondendo ao intervalo Sakmariano - Artinskiano precoce, e como um táxon guia para as fitozonas mais superiores desta unidade para o Rio Grande do Sul. A identificação desta espécie vem corroborar o detalhamento do arcabouço fitoestratigráfico local e ampliar o conhecimento sobre a tafloflora do afloramento Quitéria. A presença de folhas em conexão com o ramo permitiu avaliar seu polimorfismo, já mencionado por autores prévios. Estas distintas fisionomias apontam o padrão de venação como o principal caráter diagnóstico a ser considerado na identificação de *G. browniana*.

**Palavras-chave:** *Glossopteris browniana*, Permiano Inferior, afloramento Quitéria, Formação Rio Bonito, bacia do Paraná, Brasil.

### **ABSTRACT**

OCCURRENCE OF *GLOSSOPTERIS BROWNIANA* BRONGNIART IN THE UPPER LEVELS OF QUITÉRIA OUTCROP (RIO BONITO FORMATION, PARANÁ BASIN), RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL (LOWER PERMIAN). New paleobotanic material recovered in the Rio Grande do Sul State, southernmost Brazil, allowed the identification of *Glossopteris browniana* Brongniart for the first time in the upper levels of Quitéria outcrop. In this way, the stratigraphic range of this species is extended up to the Subzona *Botrychiopsis valida*. *G. browniana* is here considered to be restricted to the upper levels of Rio Bonito Formation, recently considered as being deposited in a Sakmarian - late Artinskian interval, and a guide-species of the uppermost plant zones from Rio Grande do Sul State and southern areas of Paraná Basin. The identification of this species improves upon the regional plant stratigraphic framework, as well as the knowledge about Quitéria outcrop taphoflora. The presence of a shoot with attached leaves indicates a leaf polymorphism to the species, also previously mentioned by several authors. Their distinct leaf physiognomy confirms that the venation pattern is the more diagnostic feature in the identification of *G. browniana*.

**Key words:** *Glossopteris browniana*, Lower Permian, Quitéria Outcrop, Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil.

## **INTRODUÇÃO**

As glossopterídeas constituem o principal elemento da “Flora de *Glossopteris*”, fazendo de suas folhas e frutificações importantes elementos para o estabele-

cimento do arcabouço bioestratigráfico das seções permianas nas bacias gondiônicas.

Na bacia do Paraná, destacam-se três morfogêneros de folhas de glossopterídeas, *Rubidgea*, *Gangamopteris* e *Glossop-*

*teris*, contendo várias espécies de ampla distribuição geográfica. Pouca ênfase, contudo, tem sido dada para seu uso como indicadores de idade. Isto se deve, em parte, à ausência de esquemas bioestratigráficos mais refinados para a bacia



como um todo, especialmente aqueles que utilizem as megafloras e cujo foco sejam as unidades do Permiano Inferior.

Um fitozoneamento formal foi proposto por Guerra-Sommer e Cazzulo-Klepzig (1993) para o Estado do Rio Grande do Sul, a partir de megafloras com esta idade. Nesta concepção, duas zonas foram sugeridas, uma mais antiga, *Botrychiopsis plantiana*, e outra mais jovem, *Glossopteris/Rhodeopteridium*. A Zona de *Botrychiopsis plantiana* subdivide-se em duas subzonas, a Subzona *Glossopteris obovata* e a Subzona *Phyllotheba indica*. *Gangamopteris buriadica*, *Rubidgea lanceolata*, *Glossopteris indica*, *G. occidentalis*, *G. mosesii*, *G. intemittens* e *G. browniana* foram considerados elementos guia para idade, sendo a última espécie característica da Zona de *Glossopteris-Rhodeopteridium* (Guerra-Sommer e Cazzulo-Klepzig, 1993).

Um maior número de coletas realizado nos últimos anos forneceu novos elementos e permitiu a identificação de novos níveis, levando a uma re-avaliação deste zoneamento, especialmente no que diz respeito à distribuição estratigráfica e aos táxons-guia (Iannuzzi *et al.*, 2003a, 2003b, Jasper *et al.*, 2003, 2005). Neste contexto, as camadas com fósseis de plantas do topo

do afloramento Quitéria revelaram uma taoflora extremamente diferenciada, que levou Jasper *et al.* (2003) a estabelecer uma nova subzona, a de *Botrychiopsis valida*.

O material descrito neste trabalho provém deste nível fossilífero e representa uma ocorrência inédita para este intervalo, considerado o de topo para as fitofloras conhecidas para o Permiano no Rio Grande do Sul. Além disto, tem ainda como objetivos contribuir para o estabelecimento de critérios mais precisos para a inserção taxonômica de *Glossopteris browniana* e para o mapeamento da distribuição desse táxon no Gondwana.

### MATERIAL E MÉTODOS

Os espécimes de plantas fósseis analisados provém do afloramento de Quitéria, uma antiga pedreira localizada no município de Pantano Grande, Rio Grande do Sul (UTM 0387516 E -6643183 N), a, aproximadamente, 130 km de Porto Alegre, pela BR 290. Cerca de 8 km depois da entrada do município de Minas do Leão, toma-se uma estrada vicinal à esquerda, percorrendo 24 km até a secção aflorante (Figura 1).

As amostras são provenientes de um intervalo granodrecrescente no terço su-

perior do afloramento, iniciada por paraconglomerados que gradativamente dão lugar a arenitos finos, siltitos e argilitos, de cores cinza-amareladas (Figura 2).

Foram analisadas quatro amostras contendo doze exemplares de folhas, preservadas como impressões, algumas compostas por partes e contra-partes. Dentre elas, sete estão conectadas a um ramo e cinco são formas isoladas.

O método de estudo foi o padrão em paleobotânica para a análise de impressões/compressões, incluindo observação em microscópio estereoscópico, medições a partir de paquímetro, confecção de ilustrações com auxílio de câmara clara e registro fotográfico dos exemplares. Para a descrição e comparação dos espécimes, foram definidas características morfológicas como sugeridas por Chandra e Surange (1979), que incluem a forma do limbo e o tipo de ápice e base foliar e o padrão de venação.

Para a obtenção dos dados referentes à densidade de venação, ângulo de emergência e divergência das veias secundárias e largura máxima da venação mediana, foram utilizados os critérios e as técnicas descritas em Rohn *et al.* (1984). Para a determinação do tipo de venação mediana segundo sua largura,



Figura 1. Mapa de localização do afloramento Quitéria (modificado da Folha Quitéria, SH.22-Y-B-I-4; MI-2985/4).  
 Figure 1. Location map of the Quitéria Outcrop (modified from the Quitéria topographic sheet, SH.22-Y-B-I-4; MI-2985/4).

se utilizou a terminologia “muito larga”, para valores maiores que 5 mm, “média” para valores entre 4 e 3 mm, e “fina”, para valores menores que 2 mm. Essas classes serviram para visualizar o efeito do estreitamento da venação mediana em relação à largura da lâmina foliar.

Para estimar o tamanho aproximado da lâmina foliar mesmo em espécimes incompletos, foram utilizadas as sete classes de tamanho propostas por Wing *et al.* (1999), denominadas em ordem crescente de tamanho como, leptofilicas, nanofilicas, microfílicas, notofilicas, mesofilicas, macrofilicas e megafilicas. Seu emprego visa apenas poder contar com um parâmetro descritivo, já que originalmente foram estabelecidas para o trabalho com angiospermas.

A sistemática supragenérica utilizada segue Stewart e Rothwell (1993).

O material paleobotânico analisado foi coletado durante trabalhos de campo dos cursos de Geologia e Biologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS e encontra-se depositado no Museu de Paleontologia do Laboratório de História da Vida e da Terra (LaViGæa) da referida universidade, onde está catalogado sob a sigla UMVT.

## CONTEXTO GEOLÓGICO E PALEONTOLÓGICO

O afloramento Quitéria expõe sedimentos de idade eopermiana que foram incluídos na Formação Rio Bonito (Superseqüência Gondwana I de Milani *et al.*, 1998). Embora em outras partes da bacia esta unidade englobe três membros, segundo Schneider *et al.*

(1974), seria indivisa no Rio Grande do Sul.

Muitos autores realizaram trabalhos de cunho geológico e paleontológico na área de ocorrência deste afloramento. O mapeamento inicial foi realizado por Fernandes *et al.* (1989) e seguido de estudos complementares de geologia sedimentar, paleontologia e bioestratigrafia (Guerra-Sommer, 1989; Piccoli *et al.*, 1991; Guerra-Sommer e Cazzulo-Klepzig, 1993; Guerra-Sommer *et al.*, 1995; Jasper e Guerra-Sommer, 1998, 1999; Jasper *et al.*, 2003, 2005; Jasper, 2004).

As fácies expostas nos 8 m de empilhamento observado no afloramento de Quitéria indicam um contexto deltaico, subdividido em duas sucessões distintas (Piccoli *et al.*, 1991). A base é composta por camadas cíclicas de pelitos carbonosos e carvão, associados com paraconglomerados, siltitos e arenitos finos amarelados (litofácies VI de Piccoli *et al.*, 1991), interpretados como tendo sido gerados em planície aluviais, cujas áreas baixas patrocinaram a instalação de ambientes palustres e a formação de turfeiras (Figura 2). A esta sucessão basal foram igualmente correlacionadas quatro biofácies (D–G), com distintas associações de mega e microflora. A Biofácies D, identificada nos siltitos escuros subjacentes à camada de carvão, é dominada por folhas de glossopterídeas (*Glossopteris*, *Gangamopteris*, *Rubidgea*), com raras *Cordaites*, restos de esfenófitas e *Botrychiopsis plantiana*. A Biofácies E, sobrejacente à camada de carvão, apresenta uma densa associação de compressões de folhas e frutificações, onde predominam as glossopterídeas, seguidas por ramos de articuladas, estéreis (*Phyllothea*) ou férteis (*Gondwanostachys*). Esta biofácies foi subdividida em E1 e E2, baseada nas diferentes associações palinológicas. Em E1, na lapa da camada de carvão, encontra-se a uma rica associação de esporos triletes e alguns grãos de pólen e, em E2, na capa da camada de carvão, embora com microflora, há uma maior proporção de polens de Gymnospermae e faltam

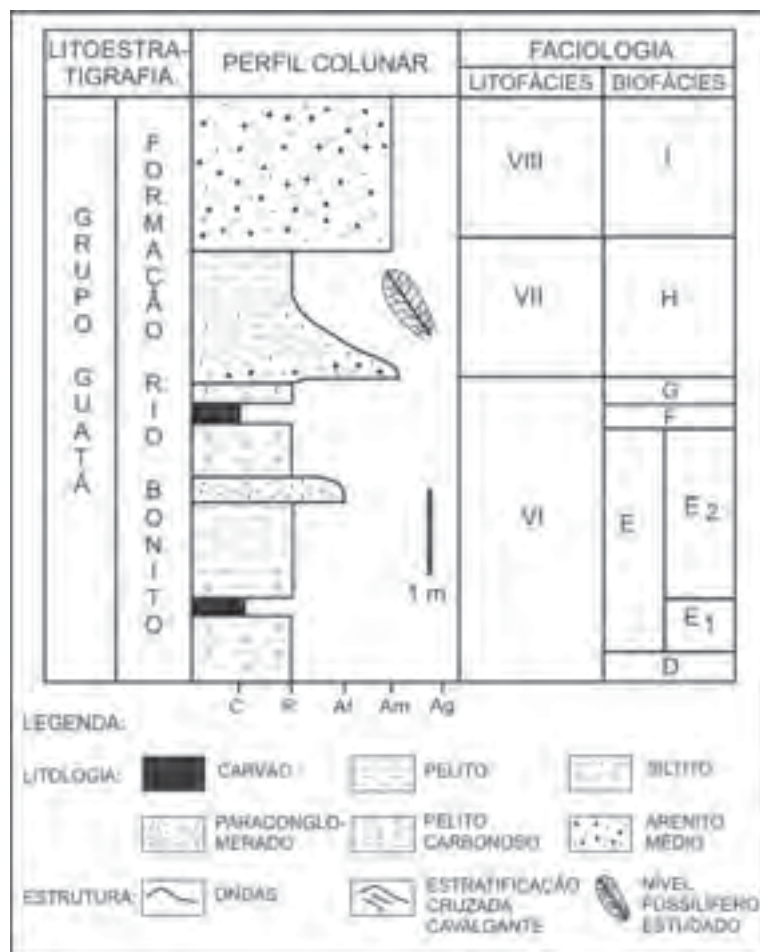


Figura 2. Perfil do afloramento Quitéria (lito e bioestratigrafia modificada de Piccoli *et al.*, 1991).

Figure 2. Geological section of the Quitéria Outcrop (litho and biostratigraphy modified from Piccoli *et al.*, 1991).



os esporos de Lycophyta. A Biofácies F, correspondente a uma fina camada de carvão superior onde a microflora é constituída predominantemente por esporos triletes (Pteridophyta). Finalmente, a Biofácies G, contida nos pelitos carbonosos sobrepostos ao nível carbonoso, compõe-se de esporos de Pteridophyta e uma menor proporção de grãos de pólen de Gymnospermae.

Guerra-Sommer *et al.* (1995), ao descreverem *Gondwanostachys australis*, uma equisetopsida arbustiva com estruturas reprodutivas em conexão orgânica, estabeleceram uma relação entre a mega e microflora para estes níveis basais do afloramento. Segundo as autoras, as glossopterídeas citadas por Piccoli *et al.* (1991), estão relacionadas a *Glossopteris indica* e *G. browniana*, e as equisetopsida aparecem como o segundo grupo em abundância. Na análise da microflora, destacaram como elementos importantes os esporos triletes, juntamente com os polens Monosaccites e Striatiti. Cutículas vegetais e traqueídeos também foram relatadas.

Na parte superior da secção, ocorre uma sucessão granodecrescente, iniciada com arenitos grossos e médios, seguidos de arenitos finos e com intercalações de siltitos e arenitos finos, na parte superior (Figura 2). Os siltitos, de coloração cinza-amarelada, apresentam laminação plano-paralela e estratificação cruzada cavalgante, com níveis de pelitos intercalados, incluídos na litofácies VII (Piccoli *et al.*, 1991). Indicariam a ação de processos fluviais em uma planície deltáica. Segundo os autores, neste intervalo ocorre exclusivamente a Biofácies H, associada aos siltitos e pelitos. Esta é formada por uma densa associação de moldes *in situ* de bases caulinares de licófitas arborescentes, incluindo também compressões de frondes (*Rhodea* sp.), estruturas reprodutivas, impressões de folhas de glossopterídeas e raros ramos de coníferas do tipo *Buriardia*. Piccoli *et al.* (1991), adicionalmente, observaram a presença de um horizonte de paleossolo

com pequenas raízes que marcaria o final da sucessão fossilífera. Estudos posteriores dedicaram-se principalmente à classificação sistemática dos fitofósseis da biofácies H (Jasper e Guerra-Sommer, 1998; Jasper, 2004; Jasper *et al.*, 2003, 2005).

Em um estudo bioestratigráfico das seqüências gonduânicas do Rio Grande do Sul, Guerra-Sommer e Cazzulo-Klepzig (1993) posicionaram a parte inferior do afloramento de Quitéria na Subzona *Phyllotheca indica* e sua parte superior na Zona *Glossopteris-Rhodeopteridium*, identificando as bases de licófitas como *Brasilodendron pedroanum* e as frondes como *Rhodeopteridium* sp. Posteriormente, Guerra-Sommer *et al.* (1995), em uma análise sobre as implicações paleoclimáticas da presença de Lycophyta nos depósitos do Gondwana do sul do Brasil,

citam a presença adicional de folhas de *Cordaites* e *Glossopteris* para este nível mais altos do afloramento.

Jasper *et al.* (2003) identificaram, junto às bases caulinares das licófitas, a ocorrência de fragmentos esparsos de glossopterídeas (*Rubidgea* sp. e *Glossopteris* sp.), que levaram à proposição de uma nova subzona, denominada *Botrychiopsis valida*, onde as licófitas seriam as formas dominantes. Outros elementos, como glossopterídeas e *Cordaites*, ocorreriam em menor proporção e deviam representar as formas que crescem em áreas um pouco mais afastadas do sítio deposicional e em áreas periféricas à comunidade. Frondes de *Rhodeopteridium* e *Botrychiopsis valida* são raras, bem como as licófitas herbáceas (*Lycopodites*) e as coníferas, representadas pelos ramos férteis de *Coricladus quiteriensis*. A Tabela 1 fornece uma lista dos táxons identificados na assembléia desta Subzona.

**Tabela 1.** Lista de táxons presentes no nível fitofossilífero mais superior do afloramento Quitéria.  
**Table 1.** Plant taxa occurrence from the uppermost fossil bed at the Quitéria Outcrop.

<i>Rhodea</i> sp.	Piccoli <i>et al.</i> , 1991 Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995
<i>Buriardia</i> sp.	Piccoli <i>et al.</i> , 1991 Jasper <i>et al.</i> , 2003
<i>Brasilodendron pedroanum</i>	Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995/ Jasper <i>et al.</i> , 2003/ Jasper, 2004
<i>Brasilodendron</i> sp.	Jasper e Guerra-Sommer, 1999
<i>Botrychiopsis</i> sp.	Jasper e Guerra-Sommer, 1999
<i>Rubidgea</i> sp.	Jasper e Guerra-Sommer, 1999/ Jasper <i>et al.</i> , 2003/ Jasper, 2004
<i>Cordaites</i> sp.	Jasper <i>et al.</i> , 2003/ Jasper <i>et al.</i> , 2005/ Jasper, 2004
<i>Glossopteris</i> sp.	Jasper <i>et al.</i> , 2003
<i>Gangamopteris</i> sp.	Jasper <i>et al.</i> , 2003
<i>Ferrugliocladius?</i>	Jasper <i>et al.</i> , 2003
<i>Botrychiopsis valida</i>	Jasper <i>et al.</i> , 2003/ Jasper <i>et al.</i> , 2005/ Jasper, 2004
<i>Lycopodites</i> sp.	Jasper, 2004
<i>Rhodeopteridium</i> sp.	Jasper <i>et al.</i> , 2005
<i>Coricladus quiteriensis</i>	Jasper <i>et al.</i> , 2005/ Jasper, 2004
<i>Glossopteris browniana</i>	Este trabalho/this work

## PALEONTOLOGIA SISTEMÁTICA

Classe GYMNOSPERMOPSIDA

Ordem GLOSSOPTERIDALES

Gênero *Glossopteris* Brongniart 1828

**Espécie-tipo.** *Glossopteris browniana* Brongniart 1828

*Glossopteris browniana* Brongniart

**Material estudado.** UMVT 406; 5166a A; 5166b B; 5175ab A-G; 5181ab; 5555.

**Descrição.** O material é composto por um fragmento de ramo (UMVT 5175ab, Figura 3A), ao qual estão conectadas sete folhas simples, micrófilas a nanófilas, formando, aparentemente, uma “roseta”. Deste conjunto de folhas, duas estão quase inteiras, faltando apenas a parte distal da região apical e a porção mais basal (UMVT 5175ab C e D). As restantes são representadas somente pela porção mediana ou por fragmentos menores (UMVT 5175ab A, B, E, F e G, Figura 3A). A forma do limbo varia de oblanceolada a estreitamente obovada, o ápice é aparentemente agudo e as bases agudas cuneadas (UMVT 5175ab C e D, Figura 3A). O comprimento atinge valores superiores a 42,9 mm, enquanto a largura foliar, valores superiores a 8,7 mm e a 16,2 mm. A venação mediana é fina, acanalada, variando de 0,8 mm a 2 mm de largura nas porções médias das folhas, e formada por poucos feixes de veias paralelas (2 a 4), mais ou menos persistentes até o ápice (Figura 3A-F). No espécime UMVT 5175ab D, a venação mediana mostra-se mais nítida, porém lisa e sem feixes aparentes, preservada de modo saliente e abaulado, indicando se tratar provavelmente da superfície abaxial da folha. As veias secundárias derivam da venação mediana com ângulos em torno de 26° a 48°, e curvam-se gradativamente em direção à margem foliar, com ângulos que variam de 60° a 77°. A densidade de venação ao longo da lâmina foliar varia de 26 a 28 veias/cm, na porção mediana, e de 30 a 36 veias/cm, quando próximo à margem. O padrão da venação secundária não é muito evidente, sendo mais bem visualizado no espécime UMVT 5175b E (Figura 3B-C). Neste, na região proximal

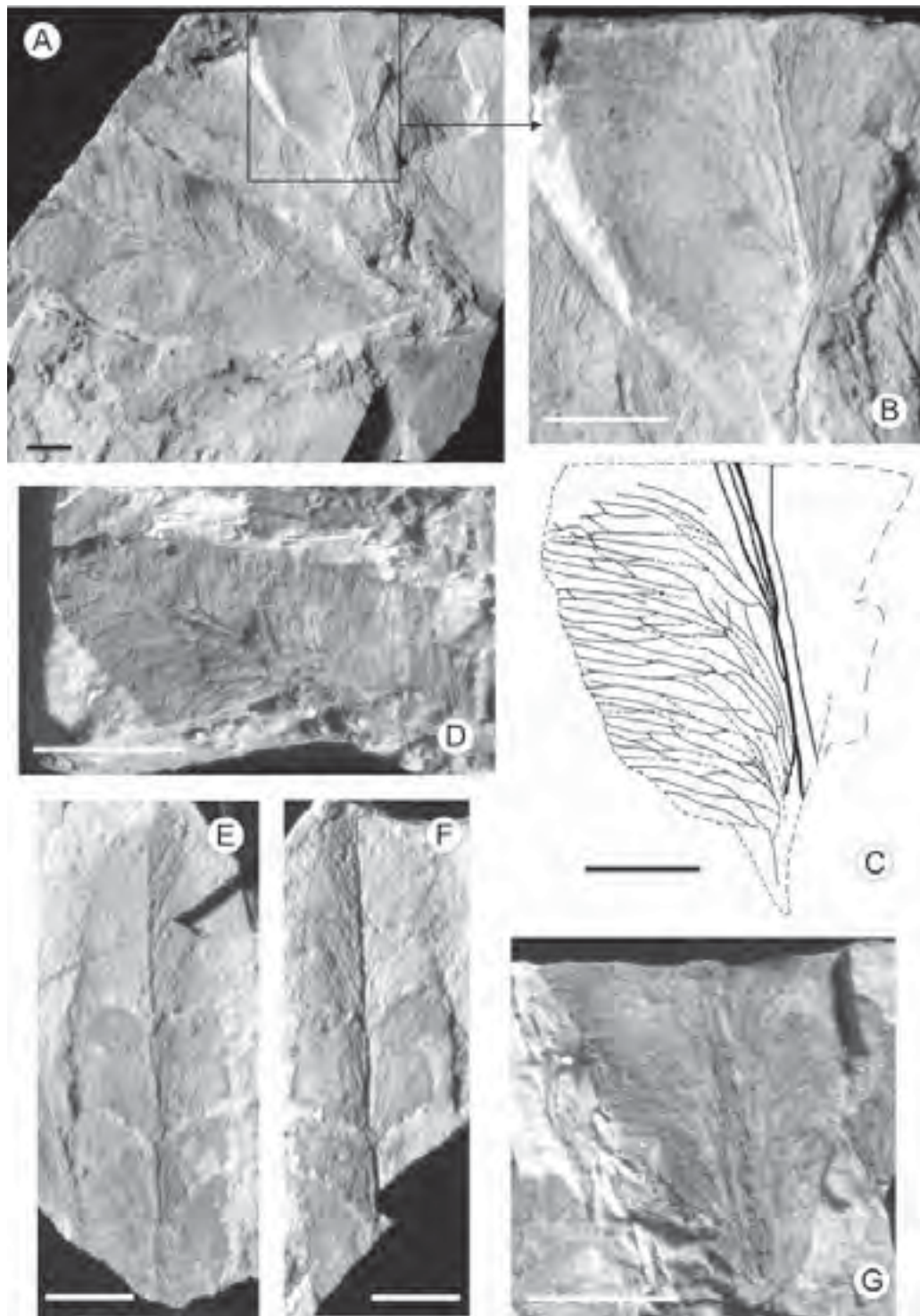
à venação mediana, os retículos são poucos, alongados e poligonais, enquanto na região entre a venação mediana e a margem, são bastante alongados, largos e com formatos que variam de trapezoides, poligonais a oblongos. Próximo às margens laterais, a venação torna-se densa e as veias se bifurcam muitas vezes.

O restante do material compõe-se de cinco folhas simples, nanófilas, isoladas, algumas praticamente inteiras, em geral com ápices foliares preservados e bases ausentes. A forma do limbo é estreitamente oblonga (UMVT 5181ab, Figura 3E-F) e os ápices variam de agudos a levemente retusos (UMVT 5166a A, UMVT 5555 e UMVT 5181ab, Figura 3D-F). A única base preservada (UMVT 5166b, Figura 3G) possui forma cuneada. O comprimento das folhas varia entre mais de 11,9 mm (UMVT 5166b B, Figura 3G) e 30,7 mm (UMVT 5181ab), e a largura apresenta desde valores superiores a 6,6 mm (UMVT 5166a A), até maiores que 11,3 mm (UMVT 406). A venação mediana é fina, acanalada, variando de 1 mm a 1,4 mm de largura nas porções médias das folhas, formada por poucos feixes de veias paralelas (2 a 5), mais ou menos constantes e persistentes até o ápice. O espécime UMVT 5181ab mostra um caráter similar ao já visto para as folhas conectadas, com a venação mediana lisa e preservada de modo saliente e abaulado, sugerindo mais uma vez a possível preservação da superfície abaxial (Figura 3E-F). As veias secundárias derivam da venação mediana com ângulos em torno de 30° a 44°, e se curvam gradualmente em direção à margem foliar, atingindo-a com ângulos que variam de 60° a 64°. A densidade de venação ao longo da lâmina foliar, varia de 26 a 30 veias/cm, na porção mediana, e 34 veias/cm, nas proximidades da margem. Em nenhum dos espécimes foi possível observar os retículos formados pela venação secundária.

**Discussão.** Os restos de folhas estudados compartilham a forma do limbo com *Glossopteris angustifolia* Brongniart, *G. varia* Pant e Gupta, *G. zeilleri* Pant e Gupta, *G. tenuinervis* Pant e Gupta, descritas em Chandra e Surange (1979) e Chandra e

Singh (1992), com *G. browniana* Brongniart (Brongniart, 1828; White, 1908; Rigby, 1966; Oliveira, 1975; McLoughlin, 1994a). Diferem, contudo, de *G. varia*, *G. zeilleri* e *G. tenuinervis*, pelos ângulos menos agudos de emergência das veias secundárias, pela venação mediana mais estreita e acanalada, formada por poucos feixes de veias paralelas que persistem até o ápice e, principalmente, pelo tipo de malha da venação secundária, com retículos de formato que variam entre oblongos, trapezoidais a poligonais. Com *G. angustifolia* compartilham o tipo de malha, com retículos alongados e relativamente largos, a forma dos retículos, e a presença de bifurcações das venações secundárias próximo à margem foliar. Contudo, se distinguem ao apresentar ápice agudo ou levemente retuso, ângulos de emergência das veias secundárias menos agudos e venação mediana relativamente estreita, acanalada, formada por poucos feixes de veias paralelas persistente até o ápice.

Entre as formas vistas acima, o maior número de caracteres em comum coincide com aqueles presentes em *G. browniana*. Estes são: (i) a dimensão da folha, coincidente com os das formas descritas por White (1908), Plumstead (1962), Oliveira (1975) e McLoughlin (1994a), (ii) a venação mediana relativamente estreita, acanalada, formada por poucos feixes de veias paralelas persistente até o ápice (Brongniart, 1828; Archangelsky, 1957; Oliveira, 1975; Kovács-Endrödy, 1976; McLoughlin, 1994a), (iii) os ângulos agudos de emergência das veias secundárias (Arber, 1905; Archangelsky, 1957; Oliveira, 1975; Kovács-Endrödy, 1976), e (iv) o tipo de malha, formado por retículos alongados, relativamente largos e com formas variáveis, oblongos e trapezoidais a poligonais, com bifurcações das veias secundárias alcançando a área marginal da folha (Brongniart, 1828; Arber, 1905; White, 1908; Archangelsky, 1957; Oliveira, 1975; Kovács-Endrödy, 1976; McLoughlin, 1994a). Levando-se em consideração o exposto, os espécimes aqui estudados são classificados como *Glossopteris browniana* Brongniart.



**Figura 3.** *Glossopteris browniana* Brongniart. A. UMVT 5175b, ramo com sete folhas conectadas, aparentemente, em forma de roseta; B. UMVT 5175b E, detalhe da venação; C. Desenho da venação do mesmo exemplar ilustrado em B; D. UMVT 5166a, região apical de uma folha; E-F. UMVT 5181ab, limbo foliar oblanceolado a obovado e o feixe mediano de veias em calha; G. UMVT 5166b, detalhe da região basal. Escala: 5 mm.

**Figure 3.** *Glossopteris browniana* Brongniart. A. UMVT 5175b A-G, 7 leaves-bearing shoot in apparent crown-shaped arrangement; B. UMVT 5175b E, leaf venation; C. Drawing of venation pattern based on the leaf specimen illustrated in B; D. UMVT 5166a, leaf apex; E-F. UMVT 5181ab, obovate to oblanceolate-shaped leaf with midrib veins preserved in a groove; G. UMVT 5166b, leaf base. Scale bar: 5 mm.



Deve-se salientar, contudo, o caráter amplamente variado da morfologia, do tamanho e do tipo de ápice e base das folhas de *G. browniana* descritas na literatura (Brongniart, 1828; Arber, 1905; White, 1908; Archangelsky, 1957; Plumstead, 1962; Oliveira, 1975; Kovács-Endrödy, 1976; McLoughlin, 1994a), que fez abrigar nesta espécie formas de ampla distribuição geográfica. Para o Gondwana, esta morfoespécie foi atribuída a seções do sul da América do Sul (Archangelsky *et al.*, 1996), África (Anderson e Anderson, 1985), Índia (Srivastava e Teware, 1996), Austrália (McLoughlin, 1994a, 1994b) e Antártica (Plumstead, 1962).

Os espécimes aqui preservados são úteis para o estabelecimento desta distribuição e para sua melhor inserção taxonômica, já que conta com folhas que ainda mantêm a conexão orgânica. Em geral, as formas isoladas dominam no registro fóssil, mas este tipo de preservação já foi registrado previamente em *Glossopteris browniana* (Seward, 1910), *G. angustifolia* (Yoshida, 1966), *G. sastrii* (Pant, 1977; Chandra e Surange, 1979), *G. plumata* (McLoughlin, 1994b), *G. skaarensis*, *G. schopfii* (Pigg e Taylor, 1993) e *G. papilosa* (Guerra-Sommer, 1995). É importante salientar que, para *G. browniana* no Brasil, os únicos outros registros de folhas com conexão orgânica se referem a áreas do sul da bacia do Paraná (Dolianiti 1954, 1956). Pant (1977) e Pant e Singh, (1974) ainda comentam mais algumas ocorrências, sem identificar as espécies.

Porém, o que parece ainda mais significativo no exame destas formas na literatura e no exemplar com conexões orgânicas aqui descrito, é o fato de confirmar o polimorfismo das folhas como um caráter comum para o gênero e, especificamente, para *Glossopteris browniana*. Esta constatação permite concluir que as propostas de afinidade, principalmente com base em seu padrão de venação, como sugeriram a maioria dos autores, não apenas são as mais fidedignas, como se revestem de uma base botânica. A forma e o tamanho foliar devem ser igualmente avaliados, mas apenas para

servir como suporte para aquelas formas que apresentam um padrão de venação muito similar, como é o caso de *G. indica* e *G. communis* (Chandra e Surange, 1979), o que demonstra que, mesmo assumindo-se a utilidade do padrão de veias, uma certa subjetividade permanece.

## DISCUSSÃO

A identificação de *G. browniana* em níveis de topo do afloramento de Quitéria implica em uma revisão dos elementos apontados como significativos para o biozoneamento das floras mais superiores da sucessão eopermiana.

Para a nova interpretação das biofácies e sua idade, além dos fósseis aqui descritos, foram úteis os novos dados de idade absoluta, recentemente obtidos para a unidade sobrejacente, a Formação Irati ( $278,4 \pm 2,2$  Ma, segundo Santos *et al.*, 2006), que sugerem idades mais antigas, entre o Sakmario e Artinskiano precoce, para o topo da Formação Rio Bonito.

Contudo, a distribuição cronoestratigráfica de *G. browniana* parece contribuir apenas em caráter local, já que tem sido encontrada dispersa em diferentes unidades do Gondwana, com idades igualmente variáveis, desde o Eo- até o Neopermiano (Plumstead, 1962; Anderson e Anderson, 1985; McLoughlin, 1994a; Archangelsky *et al.*, 1996; Srivastava e Teware, 1996). Na bacia do Paraná, porém, é restrita até o momento, aos níveis da Formação Rio Bonito (Dolianiti, 1954; Dolianiti, 1956; Oliveira, 1980; Guerra-Sommer e Cazzulo-Klepzig, 1993), de idade Eopermiana, exceção feita a um único registro na Formação Teresina (Estrada Nova, de Oliveira, 1980), de idade Roadiano (Santos *et al.*, 2006).

Dados palinológicos de Jasper (2004), demonstram que o afloramento Quitéria registra associações correspondentes à Subzona *Hamiapollenites karroensis*, da Zona *Vittatina costabilis* de Souza e Marques-Toigo (2005). Esta subzona distribui-se em um intervalo restrito ao topo da Formação Rio Bonito (Santos *et al.*, 2006). Assim sendo, para o Estado

do Rio Grande do Sul e áreas do sul da bacia do Paraná, onde a espécie é mais comumente registrada, a presença de *G. browniana* pode ser, pelo menos inicialmente, correlacionada aos níveis correspondentes a Subzona *Hamiapollenites karroensis*.

## CONCLUSÕES

O presente estudo aponta a presença de *Glossopteris browniana* em níveis do topo do afloramento Quitéria, forma antes considerada restrita aos níveis basais desta seção e estende a distribuição deste táxon. A nova ocorrência permite indicar a equivalência temporal entre a Zona de *Glossopteris/Rhodeopteridium* e a Subzona de *Botrychiopsis valida*, ambas consideradas como representativas do intervalo Artinskiano-Kunguriano pelos autores prévios.

Os novos dados palinológicos e de idade absoluta para a bacia do Paraná sugerem mais propriamente o Sakmario - Artinskiano como o momento da deposição da Formação Rio Bonito. Embora a presença de *G. browniana*, com distribuição temporal ampla no Gondwana, não possa contribuir para precisar estas idades, sua mais significativa ocorrência para áreas ao sul da bacia do Paraná concentra-se nesta unidade litoestratigráfica.

O achado de fósseis de *Glossopteris browniana* em uma nova exposição e em níveis indicativos das fitozonas mais superiores do Permiano para o Rio Grande do Sul, amplia o documentário e fornece mais elementos às discussões de idade e para a cronocorrelação. Sua provável correlação com a Subzona *Hamiapollenites karroensis* é mais um elemento para as futuras discussões de idade destes intervalos.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Luiz Flávio Lopes pelo trabalho fotográfico. Este trabalho é uma contribuição do Centro de Investigação do Gondwana (CIGO) aos projetos IGCP471, CNPq (474153/2004-5) e FAPERGS (PROAPP-04/1066.0), tendo

sido parcialmente suportado pelo CNPq na forma de bolsas e auxílios (processos 130053/2005-8, PQ304655/2004-0 e 306717/2003-4).

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J.M. e ANDERSON, H.M. 1985. *Paleoflora of Southern Africa. Prodrômus of South African Megaflores, Devonian to lower Cretaceous*. Rotterdam, A.A. Balkema, 423 p.
- ARBER, E.A.N. 1905. *Catalogue of the plants of the Glossopteris flora in the department of Geology British Museum (Natural History)*. Cambridge, Cambridge University Press, 255 p.
- ARCHANGELSKY, S. 1957. Las Glossopterideas del Bajo de la Leona. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, **12**(3):135-164.
- ARCHANGELSKY, S.; GONZÁLEZ, C.R.; CÚNEO, N.R.; SABATTINI, N.; CÉSARI, S.N.; ACEÑOLAZA, F.G.; GARCIA, G.B.; BUATOIS, L.A.; OTTONE, E.; MAZZONI, A.F.; HÜNICKEN, M.A. e GUTIÉRREZ, P.R. (eds.), 1996. *El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay*. Córdoba, Academia Nacional de Ciencias, 417 p., lam. I-V.
- BRONGNIART, A. 1828. *Histoire des végétaux fossiles ou recherches botaniques et géologiques sur les végétaux renfermés dans les diverses couches du globe*. V. 2, Paris, G. Dufour & Ed. d'Ocagne, 223 p.
- CHANDRA, S e SURANGE, K.R. 1979. *Revision of the Indian species of Glossopteris*. Lucknow, Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, Monografia, 2.301 p.
- CHANDRA, S. e SINGH, K.J. 1992. The genus *Glossopteris* from the Late Permian beds of Handapa, Orissa, Índia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **75**:183-218.
- DOLIANITI, E. 1954. A flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. IV. O gênero *Vertebraria*. *Notas Preliminares e Estudos DNP*, Rio de Janeiro, **81**:1-6.
- DOLIANITI, E. 1956. Um verticilo de *Glossopteris* no Gondwana no Estado de Santa Catarina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **1**(28):114-118.
- FERNANDES, L.A.D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C.; MARQUES-TOIGO, M.; GUERRA-SOMMER, M. e PICCOLI, A.E.M. 1989. *Mapa geológico de parte das folhas de Quitéria e de Várzea do Capivarita, RS*. Porto Alegre, Instituto de Geociências/UFRGS, Série Mapas, 14.
- GUERRA-SOMMER, M. 1989. Megaflores ocorrentes em horizontes associados a carvão no Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, **29**(2):93-122.
- GUERRA-SOMMER, M. 1995. As paleoflores das camadas associadas a carvões no Rio Grande do Sul. *Ciência e Ambiente*, **10**:63-77.
- GUERRA-SOMMER, M. e CAZZULO-KLEPZIG, M. 1993. Biostratigraphy of the Southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence: a preliminary paleobotanical approach. In: CONGRÉS INTERNATIONAL DE LA STRATIGRAPHIE ET GEOLOGIE DU CARBONIFERE ET PERMIAN, 12, *Comptes Rendus XII, ICCP*, Buenos Aires, 2:61-72.
- GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M. e MARQUES-TOIGO, M. 1995. Paleoclimatic implications of Lycopphyta in the Gondwana of Southern Brazil. *Pesquisas*, **22**(1-2):21-31.
- IANNUZZI, R.; MARQUES-TOIGO, M.; SCHERER, M.S.C.; CARAVACA, G.; VIEIRA, E.L.C. e PEREIRA, L.S. 2003a. Phytobiostratigraphical reevaluation of the Southern Brazilian Gondwana sequence (Paraná Basin, Lower Permian). In: INTERNATIONAL CONGRESS ON CARBONIFEROUS AND PERMIAN STRATIGRAPHY, 15, Utrecht, Universiteit Utrecht, *Extended Abstracts*, p. 240-242.
- IANNUZZI, R.; MARQUES-TOIGO, M.; SCHERER, C.M.S.; CARAVACA, G.; VIEIRA, C.E.L. e PEREIRA, L.S. 2003b. Reavaliação da bioestratigrafia da sequência gondwânica sul-riograndense: estudo de caso do afloramento Morro do Papaléo (bacia do Paraná, Permiano Inferior). In: ENCONTRO SOBRE ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDOS E BACIAS, 1, Porto Alegre, UFRGS, *Anais*, p. 182-185.
- JASPER, A. 2004. *O modelo deposicional do afloramento Quitéria e a evolução dos biomas úmidos no Permiano Inferior do sul da bacia do Paraná*. Porto Alegre, RS. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 248 p.
- JASPER, A. e GUERRA-SOMMER, M. 1998. Licófitas cormofíticas arborescentes do afloramento Quitéria – Formação Rio Bonito (bacia do Paraná), RS. *Pesquisas*, **25**:43-60.
- JASPER, A. e GUERRA-SOMMER, M. 1999. Licófitas arborescentes *in situ* como elementos importantes na definição de modelos deposicionais (Formação Rio Bonito – bacia do Paraná – Brasil). *Pesquisas*, **26**:49-58.
- JASPER, A.; GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M. e MENEGAT, R. 2003. The *Botrychiopsis* genus and its chronostratigraphic implication in Southern Paraná Basin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **75**:513-535.
- JASPER, A.; RICARDI-BRANCO, F. e GUERRA-SOMMER, M. 2005. *Cori cladus quiertiensis* gen. et sp. nov., a new conifer in Southern-Brazil Gondwana (Lower Permian, Paraná Basin). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **77**:157-168.
- KOVÁCS-ENDRÖDY, É. 1976. Notes on some *Glossopteris* species from Hammanskraal (Transvaal). *Palaeontologia Africana*, **19**:67-95.
- McLOUGHLIN, S. 1994a. Late Permian plant megafossils from the Bowen Basin, Queensland, Australia: Part II. *Paleontographica Abt. B.*, **231**(1-6):1-29.
- McLOUGHLIN, S. 1994b. Late Permian plant megafossils from the Bowen Basin, Queensland, Australia: Part III. *Paleontographica Abt. B.*, **231**(1-6): 31-62.
- MILANI, E.J.; FACCINI, U.F.; SCHERER, C.M.; ARAÚJO, L.M. e CUPERTINO, L.A. 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), southern Brazil. *Boletim do Instituto de Geociências/USP*, **29**:125-173.
- OLIVEIRA, M.E.C.B. 1975. Taphoflora of Karroo in the Zambesi Basin (Tete Region, Mozambique). *Boletim do Instituto de Geociências da USP*, **6**:33-53.
- OLIVEIRA, M.E.C.B. 1980. Tafoflora Eogondwânica da Formação Rio Bonito (“Camada Irapuá”), Bacia do Paraná, Brasil. In: CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA, 2/CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGÍA, 1, 1978, *Actas*, 4:69-87.
- PANT, D.D. 1977. The plant of *Glossopteris*. *Journal of the Indian Botanical Society*, **56**:1-23.
- PANT, D.D. e SINGH, R.S. 1974. On the stem and attachment of *Glossopteris* and *Gangamopteris* leaves. Part II. Structural Features. *Palaeontographica Abteilung B*, **147**: 42-73, 13 pl., 11 fig., 1 tab.
- PICCOLI, A.E.M.; MENEGAT, R.; GUERRA-SOMMER, M.; MARQUES-TOIGO, M. e PORCHER, C.C. 1991. Faciologia da sequência sedimentar nas folhas de Quitéria e Várzea do Capivarita, Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, **18**(1):31-43.
- PIGG, K.B. e TAYLOR, T.N. 1993. Anatomically preserved *Glossopteris* stems with attached leaves from the central Transantarctic Mountains, Antarctica. *American Journal of Botany*, **80**(5):500-516.
- PLUMSTEAD, E.P. 1962. Fossil flora in Antarctica. *Scientific reports on Trans Antarctic Expedition*, **9**:1-154.
- RIGBY, J.F. 1966. The Lower Gondwana floras of the Perth and Collie basins, Western Australia. *Paleontographica Abt. B.*, **118** (4-6):113-152.
- ROHN, R.; BABINSKI, M.E.C.B. e RÖSLER, O. 1984. *Glossopteris* da Formação Rio do Rasto no Sul do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, *Anais*, p. 1047-1061.
- SANTOS, R.V.; SOUZA, P.A.; ALVARENGA, C.J.S.; DANTAS, E.L.; PIMENTEL, M.M.; OLIVEIRA, C.G. e ARAÚJO, L.M. 2006. Shrimp U-Pb dating and palynology of bentonitic layers from the Permian Irati Formation, Paraná Basin, Brazil. *Gondwana Research*, **9**:456-463.
- SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. e NOGUEIRA A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, *Anais*, p. 41-65.

- SEWARD, A.C. 1910. *Fossil plants*. Vol. II. Cambridge University Press, 514 p.
- SRIVASTAVA, A.K. e TEWARI, R. 1996. Plants fossils from the Barakar Formation, Auranga Coalfield, Bihar. *Geophytology*, **26**(1):83-88.
- SOUZA, P.A. e MARQUES-TOIGO, M. 2005. Progress on the palynostratigraphy of the Paraná strata in Rio Grande do Sul State, Paraná Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, **77**(2):353-365.
- STEWART, W.N. e ROTHWELL, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. Cambridge, Cambridge University Press, 521 p.
- YOSHIDA, R. 1966. Nota sobre um tufo de Glossopteridae na camada Irapuá, Criciúma, SC. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **15**(4):69-77.
- WHITE, I.C. 1908. *Relatório final sobre as coal measures e rochas associadas do sul do Brasil*. (Report from the Comissão das Minas de Carvão da Pedra do Brasil), Rio de Janeiro, 300 p.
- WING, S.; ASH, A.; ELLIS, B.; HICKEY, L.J.; JOHNSON, K. e WILF, P. 1999. *Manual of leaf architecture – morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms*. Leaf Architecture Working Group, 65 p., disponível em <http://www.yale.edu/peabody/collections/pb/MLA.pdf> [manual online, última consulta em 18/06/2006]

Submetido em 07/10/2005

Aceito em 16/02/2006

## **Anexo B**

“Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná”. Iannuzzi, R., Scherer, C.M.S., Souza, P.A., Holz, M., Caravaca, G., Adami-Rodrigues, K., Tybusch, G.P., Souza, J.M., Smaniotto, L.P., Fischer, T.V., Silveira, A.S., Lykawka, R., Boardman, D.R. & Barboza, E.G. *In: Schobbenhaus, C. et al. (eds.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Volume II: 321-336, 2010.*

# Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS

Registro ímpar da sucessão  
sedimentar e florística pós-glacial  
do Paleozóico da Bacia do Paraná

O AFLORAMENTO MORRO DO PAPALÉO está situado no município de Mariana Pimentel e tem sido considerado como uma importante fonte de fósseis vegetais preservados na forma de impressões e coletados de depósitos do Subgrupo Itararé e da Formação Rio Bonito. Estratigraficamente, a exposição mostra claramente o limite Itararé/Rio Bonito, uma discordância bem conhecida e representada por uma significativa superfície erosiva regionalmente mapeada. Recentemente, palinóforos relativamente bem preservados têm sido recuperados de ambas as unidades estratigráficas presentes. Em termos bioestratigráficos, este afloramento é ímpar em toda a Bacia do Paraná, uma vez que apresenta a sucessão de três fitozonas, e o delineamento ao longo da mesma seção. Além disso, a exposição tridimensional dos depósitos permite o entendimento do significado e do controle estratigráfico das fitozonas e o delineamento da natureza das associações de plantas fósseis registradas (=parâmetros paleoecológicos), a fim de estabelecer o aspecto de comunidades vegetais pretéritas relacionadas à “Flora *Glossopteris*”, do Permiano Inferior da porção sul da Bacia do Paraná. Os dados palinológicos obtidos indicam que as fitozonas são equivalentes a uma única palinozona.

**Palavras-chave:** Paleobotânica; Palinologia; limite Subgrupo Itararé/Formação Rio Bonito; Permiano Inferior; Bacia do Paraná; Rio Grande do Sul

**SIGEP 101**

Roberto Iannuzzi<sup>1</sup>  
Claiton Marlon dos Santos Scherer<sup>1</sup>  
Paulo Alves de Souza<sup>1</sup>  
Michael Holz<sup>1</sup>  
Gerson Caravaca<sup>2</sup>  
Karen Adami-Rodrigues<sup>3</sup>  
Graciela Pereira Tybusch<sup>1</sup>  
Juliane Marques de Souza<sup>1</sup>  
Larissa P. Smaniotto<sup>1</sup>  
Tiago V. Fischer<sup>1</sup>  
Ariane Santos da Silveira<sup>4</sup>  
Ricardo Lykawka<sup>1</sup>  
Daiana Rockenbach Boardman<sup>1</sup>  
Eduardo Guimarães Barboza<sup>1</sup>

**Morro do Papaléo outcrop, Mariana Pimentel, State of Rio Grande do Sul, Brazil** – Unique record of post-glacial sedimentary and floral succession of the Paleozoic from Paraná Basin

The Morro do Papaléo outcrop is situated in Mariana Pimentel Municipality and has been considered as an important source of plant fossils preserved as impressions recovered from deposits of the Itararé Subgroup and Rio Bonito Formation. Stratigraphically, the exposure shows clearly the Itararé/Rio Bonito boundary, a well-known discordance represented by significant erosive surface mapped in regional scale. Recently, palynomorphs relatively well-preserved were recovered from both Itararé and Rio Bonito units. In terms of biostratigraphy, this outcrop is unique throughout Paraná Basin due to the presence of three successive plant zones along the only one section. Besides, the three-dimensional exposure of sedimentary deposits allows to understand the stratigraphical meaning and control of those plant zones and outline the nature of the plant assemblages recorded (= paleoecological parameters) in order to establish how were the ancient plant communities related to “Glossopteris Flora” for the Lower Permian deposits of the southern Paraná Basin. The palynological data obtained from this section indicate that the plant zones are equivalent to only one palinozone.

**Key words:** Paleobotany; Palynology; Itararé Subgroup/Rio Bonito Formation boundary; Lower Permian; Paraná Basin; Rio Grande do Sul State



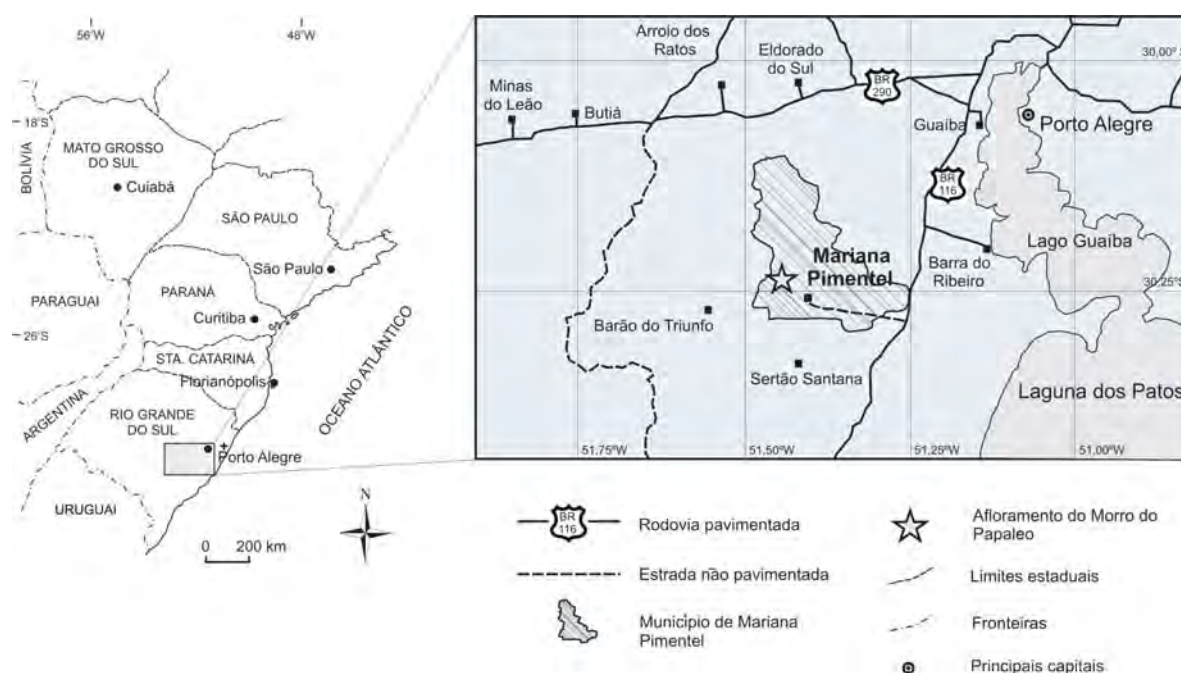
## INTRODUÇÃO

A seção do Afloramento Morro do Papaléo mostra-se “única” por apresentar numa mesma exposição tridimensional e contínua a sucessão estratigráfica de três fitozonas. Esta condição não é observada em outros sítios ao longo de toda a Bacia do Paraná e possibilita estabelecer os parâmetros que governam as mudanças florísticas em termos bioestratigráficos. A atual exposição do Morro do Papaléo não só permite um fácil e adequado acesso ao conteúdo fossilífero, bem como a visualização em três dimensões de todo o pacote da porção superior da seção. Neste contexto, esta seção possibilita definir com maior precisão a história tafonômica dos restos vegetais, bem como os processos deposicionais locais relacionados à incorporação do material orgânico. Deste modo, é possível propor com mais propriedade a reconstrução dos ambientes de vida dos elementos que compunham a Flora *Glossopteris*, responsáveis pela fitomassa geradora dos depósitos de carvão do sul do país. Além disso, o Morro do Papaléo apresenta de forma clara e didática a passagem Itararé/Rio Bonito, mostrando como se deu a evolução sedimentar dos ambientes pós-glaciais do topo do Subgrupo Itararé para aqueles geradores de carvões da Formação Rio Bonito. Justamente por todas as características estratigráficas e paleontológicas mencionadas acima, o afloramento Morro do Papaléo tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores

ao longo do tempo (Formoso 1968, Burjack *et al.* 1982, Corrêa da Silva & Arrondo 1977, Correia da Silva 1978, Paim *et al.* 1983, Piccoli *et al.* 1983, Pasqualini *et al.* 1986, Lavina *et al.* 1992, Iannuzzi *et al.* 2003a, b). Deste modo, foi considerado por Corrêa da Silva (1978) como localidade-tipo da Formação Rio Bonito no Rio Grande do Sul e por Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) como localidade-tipo da Subzona *Phyllothea indica* da Zona *Botrychiopsis plantiana*, relativa ao zoneamento fitoestratigráfico proposto pelas autoras para o Estado. Resta, no entanto, a compreensão da seção do Morro do Papaléo em termos do arcabouço estratigráfico regional, estabelecido apenas recentemente, com base na estratigrafia de seqüências, para o pacote permiano do Rio Grande do Sul (Holz 1997, 1998, 1997, 2003).

## LOCALIZAÇÃO

O Afloramento Morro do Papaléo (30°21'S – 51°34'W) situa-se 8 km a noroeste do centro do município de Mariana Pimentel, cujo acesso é feito a partir da rodovia federal BR 116, no sentido Porto Alegre – Pelotas, altura do km 327 (cerca de 80 km de Porto Alegre), percorrendo-se, aproximadamente, 22 km por estrada intermunicipal de terra em direção à Barão do Triunfo (Fig. 1). A partir do prolongamento da via principal que corta o município, segue-se através de uma estrada vicinal de terra até atingir a localidade conhecida como Morro



**Figura 1** - Mapa de localização do Afloramento Morro do Papaléo, município de Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul.

**Figure 1** - Location map of the Morro do Papaléo Outcrop, Mariana Pimentel Municipality, Rio Grande do Sul State.



**Figura 2** - Vista parcial da porção superior do Afloramento Morro do Papaléo.

**Figure 2** - Partial view from the upper part of Morro do Papaléo Outcrop.

do Papaléo, onde se encontra a seção aflorante em questão (Fig. 2). A seção situa-se dentro da área de exploração de uma antiga mina de caulim a céu aberto.

## DESCRIÇÃO DO SÍTIO

O afloramento Morro do Papaléo corresponde a uma seção exposta, em grande parte, pelas atividades de uma antiga mina a céu aberto, criada para exploração de caulim junto ao município de Mariana Pimentel. Como se trata de uma pequena elevação, a denudação do referido morro para a exploração das argilas, possibilitou a exposição tridimensional, principalmente, da porção médio-superior da seção. A porção mais basal da seção aflorante pode ser examinada através de ravinas existentes ao redor da base do morro.

Segundo o perfil mais recente deste afloramento, elaborado por Iannuzzi *et al.* (2003a, b) e que traduz com maior fidelidade a seção atualmente aflorante, tem-se os níveis mais basais deste afloramento representados por ritimitos siltico-argilosos, intercalados por níveis de pelitos carbonosos, com estratificações cruzadas cavalgantes, feições de fluidização e estruturas do tipo “wavy/linsen”. Nesta porção basal ocorrem fósseis em dois níveis estratigráficos, N1 e N2,

conforme assinalados no perfil (Fig. 3). No nível N1, foi recuperada uma boa quantidade de palinórfos de origem terrestre, tais como esporos dos gêneros *Brevitriletes*, *Calamospora*, *Cirratiradites*, *Cristatisporites*, *Convolutispora*, *Cyclogranisporites*, *Granulatisporites*, *Horriditriletes*, *Kraeuselisporites*, *Lundbladispota*, *Punctatisporites*, *Reticulatisporites*, *Vallatisporites*, grãos de pólen do tipo *Cycadopites*, *Divarisaccus*, *Limitisporites*, *Peppersites*, *Striomonosaccites*, *Vittatina*, *Cannanoropolis*, *Illinites*, *Protohaploxylinus*, *Vesicaspora* e raros fungos (*Portalites*). Há também a presença de palinórfos atribuídos às algas (*Brazileia*, *Leiosphaeridia* e *Tetraporina*), além de megásporos não estudados até o momento (Figs. 4 e 5). A ocorrência das espécies de palinórfos, por nível estratigráfico, é apresentada em Smaniotto *et al.* (2006). O nível N2 apresenta um conteúdo megaflorístico representado por impressões de frondes de *Botrychiopsis*, de folhas de *Glossopteris*, *Gangamopteris* e *Cordaites*, e de sementes do tipo *Samaropsis* sp. e *Cordaicarpus* sp. (Figs. 4 e 6).

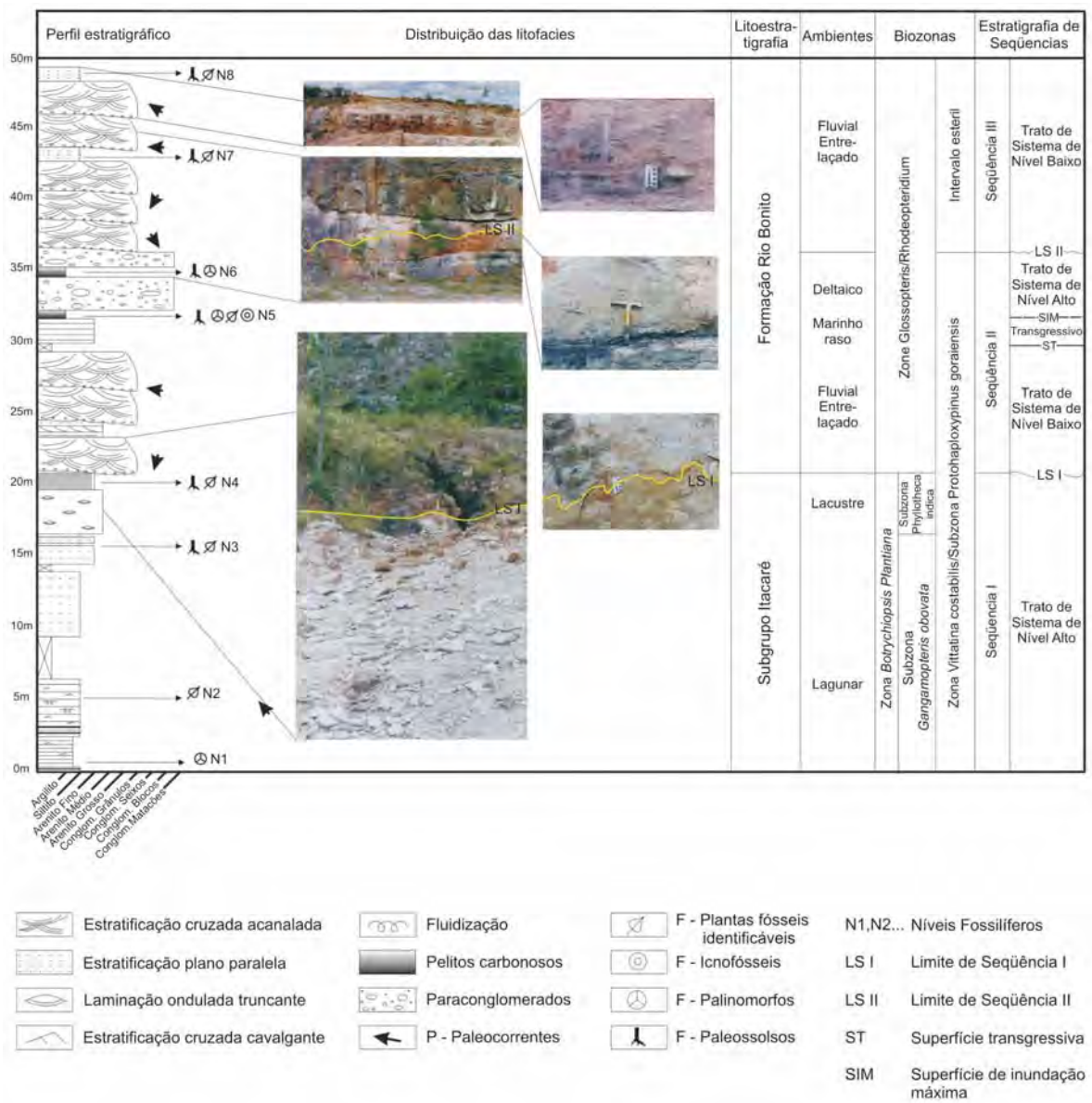
Os níveis sobrejacentes apresentam um conteúdo megaflorístico semelhante, porém com uma litologia um tanto quanto distinta, caracterizada por siltitos maciços ou com laminação plano-paralela e pela intercalação de



siltitos avermelhados com poucos restos vegetais, onde também são encontrados níveis de paleossolos. Desta porção obtiveram-se os fósseis referentes ao nível N3 do perfil (Fig. 3) que correspondem a impressões de folhas de *Gangamopteris*, *Cordaiteis* e *Chiropteis*, e de sementes do tipo *Samaropsis* (Fig. 4).

O próximo pacote é composto por uma sucessão de arenitos muito finos a médios, lenticulares e com laminação ondulada truncante, e siltitos finamente laminados, que apresentam abundantes restos de vegetais e níveis de paleossolos formados por rizomas (*Pinnularia*) de esfenótitas. Cor-

respondentes ao nível N4 do perfil (Fig. 3), grande quantidade de impressões foliares relativas aos gêneros *Gangamopteris*, *Glossopteris*, *?Dicranophyllum*, *Cheirophyllum*, *Kawizophyllum* e *Cordaiteis* são encontradas juntamente com rizomas, caules e ramos foliares de *Phyllothea* e *Stephanophyllites*, todos preservados na forma de impressões e moldes. Há também em N4, um bom número de impressões de sementes de *Samaropsis* e *Cordaicarpus* e raros casos de folhas de *Gangamopteris*, *Glossopteris* e *Cordaiteis* preservadas como contramoldes, através de processos autigênicos (Figs. 4 e 6).



**Figura 3** - Perfil estratigráfico ilustrado do afloramento Morro do Papaléo, detalhando os níveis fossilíferos, as principais fácies encontradas, as superfícies erosivas e a distribuição dos paleoambientes, das seqüências estratigráficas, das fitozonas e da única palinozona registrada. Baseado em Iannuzzi *et al.* (2003a, b).

**Figure 3** - Illustrated stratigraphic profile from the Morro do Papaléo Outcrop showing details of the distinct fossiliferous levels, main sedimentary facies seen and erosive surfaces, including the succession of paleoenvironments, stratigraphic sequences and biozones (phyto- and palynozone). Based on Iannuzzi *et al.* (2003a, b).

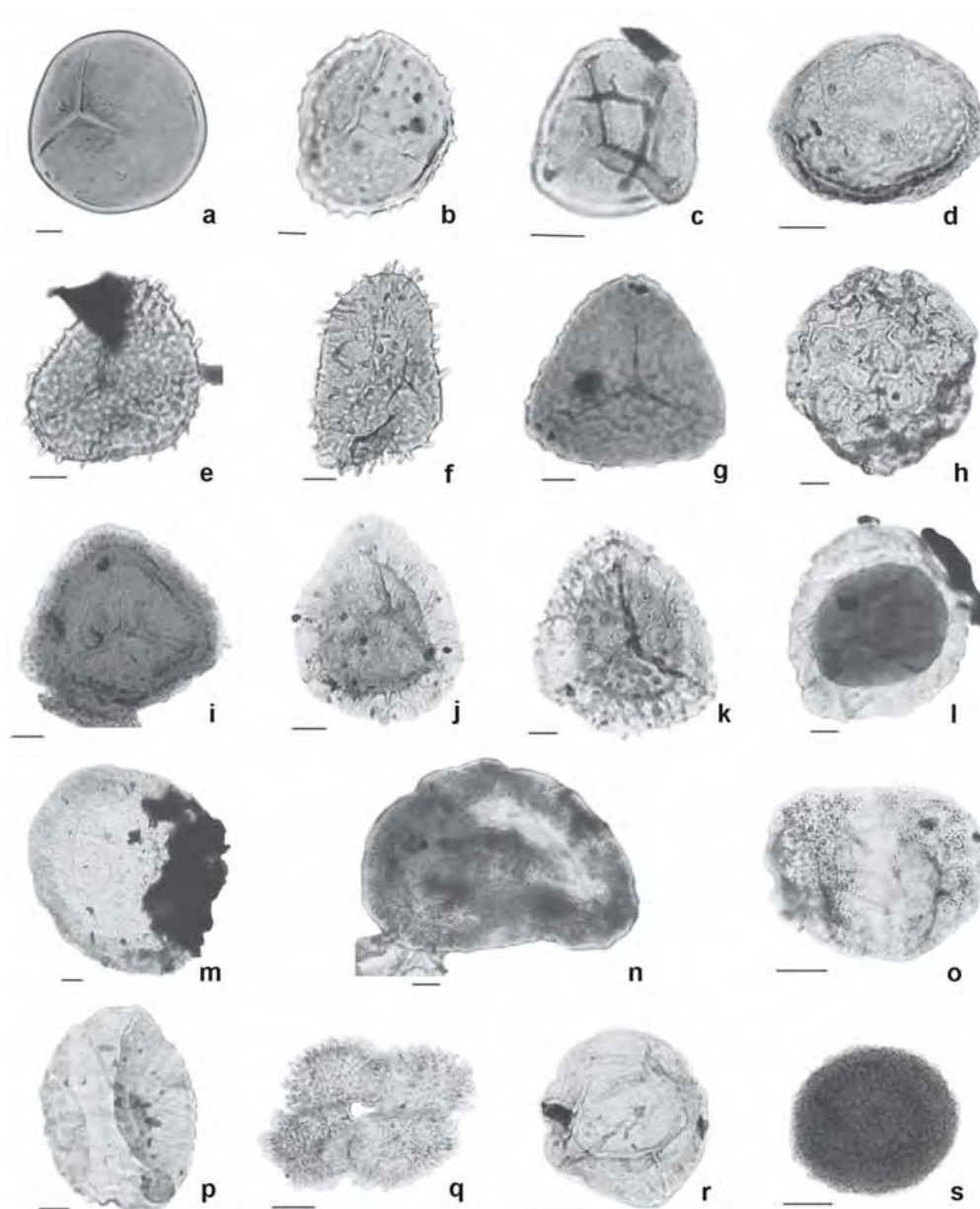
ESPÉCIES	Itararé			Fm. Rio Bonito		
	Nível 1	Nível 5	Nível 6			
<b>ESPOROS</b>						
<i>Cirratiradites</i> sp.	x					
<i>Cristatisporites irradiatus</i>	x					
<i>Cristatisporites microvacuolatus</i>	x					
<i>Cristatisporites morungavensis</i>	x					
<i>Cyclogranisporites</i> sp.	x					
<i>Granulatisporites triconvexus</i>	x					
<i>Reticulatisporites pseudopalliatius</i>	x					
<i>Vallatisporites splendens</i>	x					
<i>Vallatisporites ciliaris</i>	x					
<i>Brevitriletes levis</i>	x	x	x			
<i>Calamospora hartungiana</i>	x	x	x			
<i>Convolutispora candiotensis</i>	x	x	x			
<i>Horriditriletes gondwanensis</i>	x	x	x			
<i>Horriditriletes ramosus</i>	x	x	x			
<i>Kraeuselisporites volkheimerii</i>	x	x	x			
<i>Lundbladispora braziliensis</i>	x	x	x			
<i>Lundbladispora riobonitensis</i>	x	x	x			
<i>Punctatisporites gretensis</i>	x	x	x			
<i>Horriditriletes superbus</i>		x	x			
<i>Horriditriletes uruguaiensis</i>		x	x			
<b>GRÃOS DE PÓLEN</b>						
<i>Cycadopites</i> sp.	x					
<i>Divarisaccus stringoplicatus</i>	x					
<i>Limitisporites</i> sp.	x					
<i>Peppersites</i> sp.	x					
<i>Striomonosaccites</i> sp.	x					
<i>Vittatina vittifera</i>	x					
<i>Cannanopolis diffusus</i>	x	x	x			
<i>Illinites unicus</i>	x	x	x			
<i>Protohaploxypinus goraiensis</i>	x	x	x			
<i>Vesicaspora</i> sp.	x	x	x			
<i>Vittatina costabilis</i>	x	x	x			
<i>Protohaploxypinus limpidae</i>		x	x			
<b>ALGAS</b>						
<i>Brazilea helby</i> forma <i>gregata</i>	x					
<i>Brazilea scissa</i>	x					
<i>Leiosphaeridia</i> sp.	x					
<i>Tetraporina</i> sp.	x	x	x			
<i>Quadrisporites horridus</i>		x	x			
<b>FUNGOS</b>						
Esporos de fungos indet.	x					
<i>Portalites gondwanensis</i>	x	x	x			

ESPÉCIES	Subgr. Itararé			Fm. Rio Bonito	
	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 7	Nível 8
<b>PLANTAS</b>					
<i>Botrychiopsis plantiana</i>	x				
<i>Gangamopteris angustifolia</i>	x				
<i>Samaropsis</i> sp.	x	x			
<i>Gangamopteris obovata</i>	x	x	x		
<i>Cordaicarpus</i> sp.	x		x	x	x
<i>Glossopteris communis</i>	x		x	x	x
<i>Cordaites hislopilii</i>	x	x	x	x	x
<i>Chiropteris</i> sp.		x			
<i>Cheirophyllum specularis</i>			x		
? <i>Dicranophyllum</i> sp.			x		
<i>Phyllothea australis</i>			x		
<i>Gangamopteris buriadica</i>			x		
<i>Gangamopteris</i> sp. 1			x		
<i>Gangamopteris</i> sp. 2			x		
<i>Samaropsis kurtzii</i>			x		
<i>Samaropsis</i> aff. <i>S. rigbyi</i>			x		
<i>Samaropsis</i> sp. 2			x		
<i>Stephanophyllites</i>			x		
<i>Glossopteris indica</i>			x		x
<i>Samaropsis</i> sp. 3			x		x
<i>Glossopteris occidentalis</i>			x	x	x
<i>Kawizophyllum</i> sp.			x	x	x
<i>Samaropsis</i> sp. 1			x	x	x
<i>Brasilodendron pedroanum</i>				x	x
<i>Cyclodendron</i> sp.				x	x
<i>Gangamopteris obovata</i> var. <i>major</i>				x	x
<i>Ginkgophytopsis</i> sp.				x	x
<i>Arberia</i> sp.					x
<i>Asterotheca</i> sp.					x
<i>Neomariopteris</i> sp.					x
<i>Pecopteris</i> sp.					x
<i>Samaropsis</i> aff. <i>S. millaniana</i>					x
<i>Sphenopteris</i> sp.					x

**Figura 4** - Listagem das morfoespécies de palinórfos e plantas identificadas por nível fossilífero na seção do Morro do Papaléo, conforme perfil mostrado na Figura 2. Taxonomia dos palinórfos baseada no trabalho de Smaniotto *et al.* (2006) e das plantas fósseis baseada nos trabalhos de Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), Iannuzzi (2000), Silva & Iannuzzi (2000), Vieira & Iannuzzi (2000), Iannuzzi *et al.* (2003a, b), Tybusch (2005), Souza & Iannuzzi (2006).

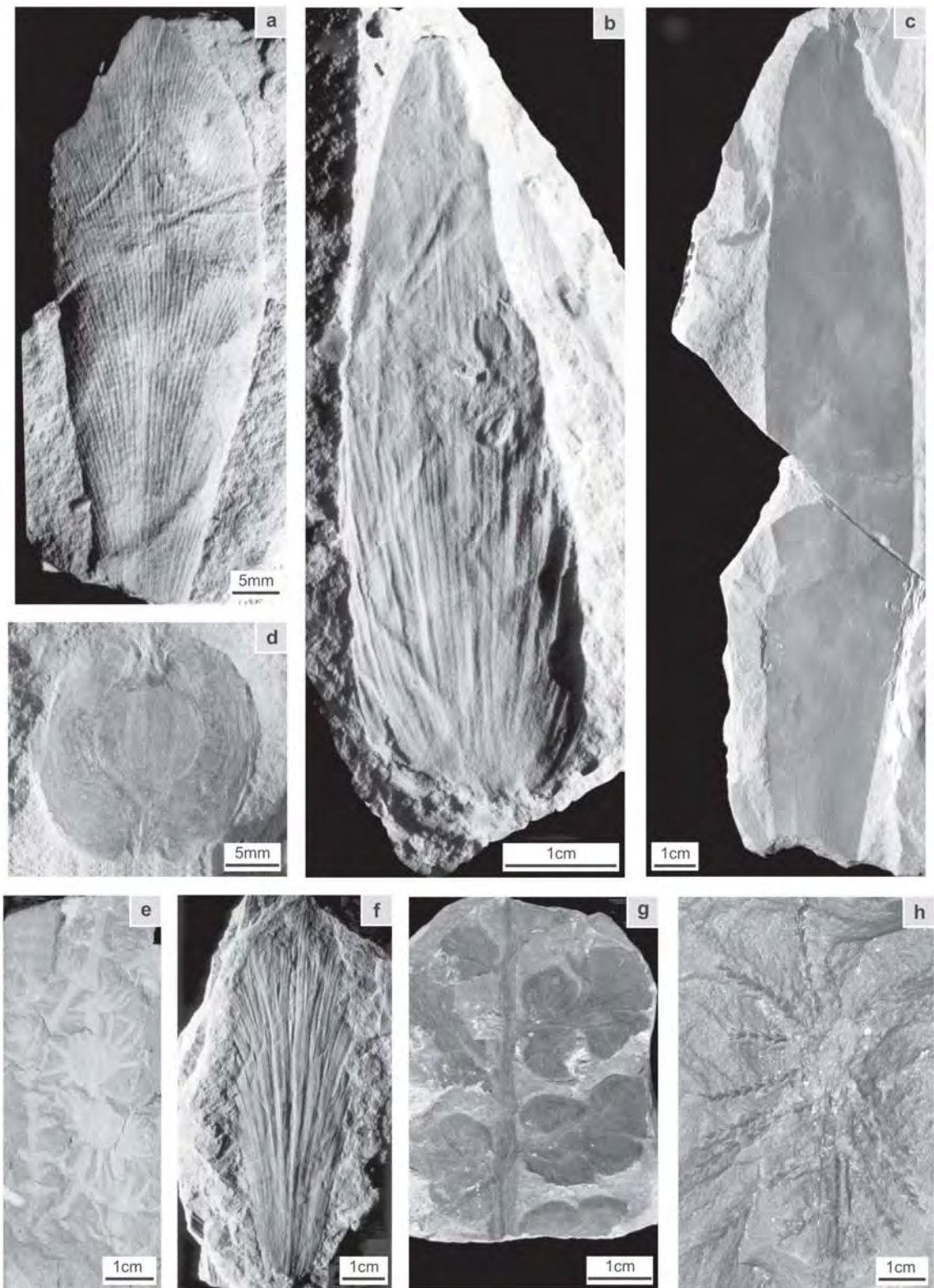
**Figure 4** - Listing of the palynomorph and plant morphospecies identified per each fossiliferous level in the Morro do Papaléo Outcrop, according at profile shown in the Figure 2. Palynomorph taxonomy of based on Smaniotto *et al.* (2006) and plant taxonomy based on Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), Iannuzzi (2000), Silva & Iannuzzi (2000), Vieira & Iannuzzi (2000), Iannuzzi *et al.* (2003a, b), Tybusch (2005), Souza & Iannuzzi (2006).



**Figura 5** - Palinomorfos selecionados: (a) *Punctatisporites gretensis* (Lâmina MP-P 5068, Coordenada England Finder Y33-4); (b) *Brevitriletes levis* (MP-P 5061B, R43-2); (c) *Granulatisporites triconvexus* (MP-P 5061A, T52-3); (d) *Cyclogranisporites* sp. (MP-P 5061C, G44-2); (e) *Horriditriletes superbus* (MP-P 5068, V36-3); (f) *Horriditriletes ramosus* (MP-P 5068, U38-3); (g) *Convolutispora candiotensis* (MP-P 5065, A48-3); (h) *Reticulatisporites pseudopalliatus* (MP-P 5061A, L59-3); (i) *Lundbladispora braziliensis* (MP-P 5061B, N56-2); (j) *Kraeuselisporites volkheimerii* (MP-P 5061B, F53-4); (k) *Vallatisporites ciliaris* (MP-P 5061A, P41-4); (l) *Striomonosaccites* sp. (MP-P 5061B, J22-2); (m) *Cannanoropollis janakii* (MP-P 5061C, H29-2); (n) *Divarisaccus stringoplicatus* (MP-P 5061B, P46-3); (o) *Protohaploxypinus limpidus* (MP-5062C, R43-4); (p) *Vittatina costabilis* (MP-P 5061B, N51-4); (q) *Quadrisporites horridus* (MP-P 5069, E56-1); (r) *Leiosphaeridia* sp. (MP-P 5061C, F35-3); (s) *Portalites gondwanensis* (MP-P 5061C, R34). (Escala gráfica = 10 µm).

**Figure 5** - Selected palynomorphs: (a) *Punctatisporites gretensis* (Slide MP-P 5068, England Finder Coordinate Y33-4); (b) *Brevitriletes levis* (MP-P 5061B, R43-2); (c) *Granulatisporites triconvexus* (MP-P 5061A, T52-3); (d) *Cyclogranisporites* sp. (MP-P 5061C, G44-2); (e) *Horriditriletes superbus* (MP-P 5068, V36-3); (f) *Horriditriletes ramosus* (MP-P 5068, U38-3); (g) *Convolutispora candiotensis* (MP-P 5065, A48-3); (h) *Reticulatisporites pseudopalliatus* (MP-P 5061A, L59-3); (i) *Lundbladispora braziliensis* (MP-P 5061B, N56-2); (j) *Kraeuselisporites volkheimerii* (MP-P 5061B, F53-4); (k) *Vallatisporites ciliaris* (MP-P 5061A, P41-4); (l) *Striomonosaccites* sp. (MP-P 5061B, J22-2); (m) *Cannanoropollis janakii* (MP-P 5061C, H29-2); (n) *Divarisaccus stringoplicatus* (MP-P 5061B, P46-3); (o) *Protohaploxypinus limpidus* (MP-5062C, R43-4); (p) *Vittatina costabilis* (MP-P 5061B, N51-4); (q) *Quadrisporites horridus* (MP-P 5069, E56-1); (r) *Leiosphaeridia* sp. (MP-P 5061C, F35-3); (s) *Portalites gondwanensis* (MP-P 5061C, R34). (Bar scales = 10 µm).





**Figura 6** - Plantas fósseis coletadas no Subgrupo Itararé: **(a)** *Gangamopteris obovata* (MP-Pb 2002, level N4); **(b)** *Kawizophyllum* sp. (MP-Pb 3695, level N4); **(c)** *Cordaites hislopilii* (MP-Pb 3680, level N4); **(d)** *Samaropsis kurtzii* (MP-Pb 3010, level N4); **(e)** *Phyllothea australis* (= *P. indica*) (MP-Pb 4130, level N4); **(f)** *Cheirophyllum speculare* (MP-Pb 3052A, level N4); **(g)** *Botrychiopsis plantiana* (MP-Pb 2677, level N2); **(h)** *Stephanophyllites* sp. (MP-Pb 2597, level N4).

**Figure 6** - Plant fossils recovered from the Itararé Subgroup: **(a)** *Gangamopteris obovata* (MP-Pb 2002, level N4); **(b)** *Kawizophyllum* sp. (MP-Pb 3695, level N4); **(c)** *Cordaites hislopilii* (MP-Pb 3680, level N4); **(d)** *Samaropsis kurtzii* (MP-Pb 3010, level N4); **(e)** *Phyllothea australis* (= *P. indica*) (MP-Pb 4130, level N4); **(f)** *Cheirophyllum speculare* (MP-Pb 3052A, level N4); **(g)** *Botrychiopsis plantiana* (MP-Pb 2677, level N2); **(h)** *Stephanophyllites* sp. (MP-Pb 2597, level N4).

Logo acima, há o registro de uma nítida superfície erosiva que marca uma relevante quebra estratigráfica na seção. Esta quebra, representada pelo contato nitidamente erosivo, corresponde ao limite entre o Subgrupo Itararé e a Formação Rio Bonito, regionalmente mapeado (Silva Filho, 1974) e definitivamente estabelecido por Corrêa da Silva (1978). O pacote de rochas que define essa superfície erosiva é composto por arenitos de granulometria média a muito fina, com camadas lenticulares que apresentam internamente estratificações cruzadas, laminações onduladas e plano-paralelas. Esses arenitos gradam a ortoconglomerados de cor acinzentada, com camadas lenticulares e clastos de tamanho seixo, apresentando estratificações cruzadas acanaladas. Do ponto de vista da estratigrafia de seqüências, essa superfície erosiva estabelece o primeiro limite de seqüência da seção, LS I, entre um trato de sistemas de nível alto e um trato de nível baixo (Fig. 3).

Por cima destes pacotes arenosos e conglomeráticos, observa-se um pequeno pacote constituído por arenitos finos, com camadas tabulares, estruturalmente maciços, nos quais se encontra a presença de atividades biológicas representadas pelo registro de paleossolos e tubos verticais associados a invertebrados de provável origem marinha (icnofósseis não estudados até o momento). Restos de plantas não identificáveis ocorrem junto aos paleossolos. Os arenitos finos são sucedidos por paraconglomerados maciços (diamictitos), com camadas lateralmente contínuas de espessuras métricas e matrizes de areia fina a argilosa, com arcabouço de grânulos a matações. Intercalam-se aos paraconglomerados, camadas de pelitos carbonosos com raros fragmentos de plantas, em geral não identificáveis, e palinomorfos, além de níveis com paleossolos. Um único resto de planta identificado até o momento, corresponde a uma compressão caulinar piritizada atribuível a algum tipo de licófito. Já os palinomorfos, recuperados de amostragens nos níveis N5 e N6 (Fig. 3), encontram-se bem representados por boa quantidade de elementos terrestres, a saber: esporos classificados nos gêneros *Brevitriletes*, *Calamospora*, *Convolutispora*, *Horriditriteles*, *Krauselisporites*, *Lundbladispora*, *Punctatisporites*, grãos de pólen referentes à *Vittatina*, *Cannanoropolis*, *Illinites*, *Protohaploxypinus*, *Vesicaspora*, e fungos de *Portalites*. Há também a presença de uns poucos elementos algálicos, tais como *Tetraporina* e *Quadrisporites* (Figs. 4 e 5).

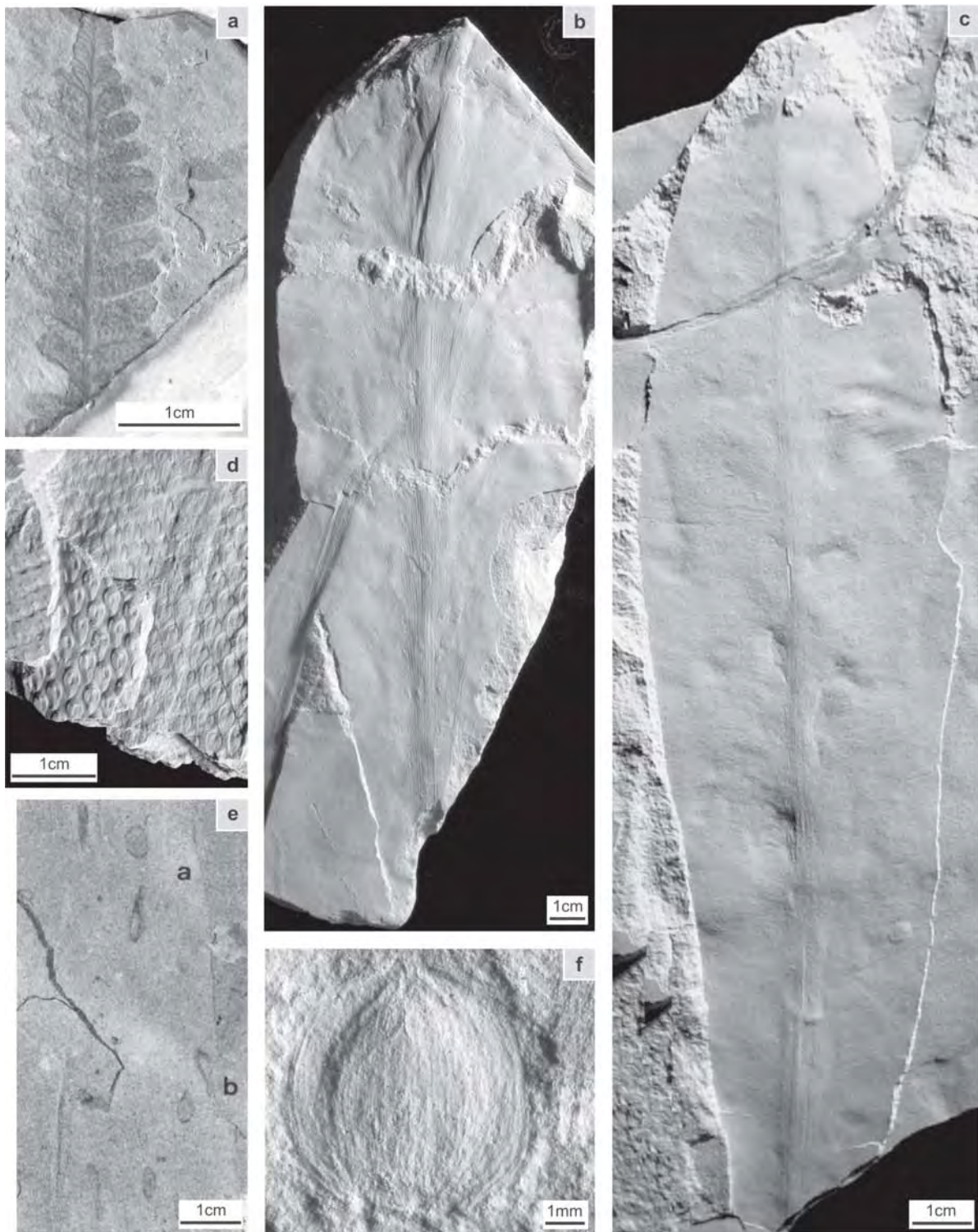
Finalizando a seção, têm-se arenitos grossos a conglomeráticos, mal selecionados, compostos por ca-

madas lenticulares com espessuras métricas, apresentando internamente estratificação cruzada acanalada. Estes arenitos assentam-se em contato francamente discordante sobre o pacote anterior, constituindo uma significativa superfície erosiva, associada ao segundo limite de seqüência da seção denominado LS II (Fig. 3). Intercalados aos arenitos ocorrem siltitos finos, esbranquiçados, com camadas lenticulares que apresentam estratificação plano-paralela, paleossolos e abundantes restos vegetais constituídos por impressões de folhas de *Gangamopteris*, *Glossopteris*, *Ginkgophytopsis*, *Kawizophyllum*, *Cordaites*, de caules de *Brasilodendron* e *Cyclodendron*, de frondes de *Pecopteris*, *Sphenopteris*, *Neomariopteris*, *Asterotheca*, de sementes relativas à *Samaropsis* e *Cordaicarpus*, e de frutificações do tipo *Arberia* (Figs. 4 e 7). Alguns caules de *Brasilodendron* podem ocorrer preservados na forma de moldes e contra-moldes. Estes estratos fitofossilíferos correspondem aos níveis N7 e N8 do perfil proposto para seção (Fig. 3).

Faciologicamente, a base da seção aflorante é interpretada como tendo sido depositada em um ambiente lêntico, ou seja, de águas calmas do tipo lagunar a lacustre. As camadas sobrejacentes, já pertencentes à Formação Rio Bonito (Fig. 3), foram consideradas como depósitos flúvio-deltáicos (“fan deltas”) gerados aparentemente, muito próximos à linha de costa (ambiente marinho raso). Por último, a porção superior da seção teria sido formada sob condições de um ambiente fluvial do tipo entrelaçado (Fig. 3). Esta sucessão foi subdividida em três seqüências (da base para o topo, Seqüências I, II, III) por Iannuzzi *et al.* (2003a, b), de acordo com os preceitos utilizados na moderna estratigrafia de seqüências (Fig. 3).

Segundo Smaniotto *et al.* (2006), a presença de espécies microplanctônicas, tais como *Brazileia*, *Leiosphaeridia*, *Quadrisporites* e *Tetraporina* que ocorrem de forma diferenciada em ambas as unidades, bem como as relações percentuais entre os grupos da matéria orgânica particulada, permitem a proposição de ambiente transicional, com influência marinha, para a porção mais basal do Subgrupo Itararé na seção, e ambiente lacustre e/ou pantanoso para os depósitos carbonosos da Formação Rio Bonito no Morro do Papaléo, corroborando dados litofaciológicos e paleontológicos prévios (Fig 3). No topo do Subgrupo Itararé, o incremento na presença de restos de vegetais e paleossolos, tais como os constituídos por esfenófitas, indica certo razeamento do corpo d’água, o que poderia ter conduzido a condições mais típicas de um ambiente lacustre (Fig. 3). No entanto, a ausên-





**Figura 7** - Plantas fósseis coletadas na Formação Rio Bonito: **(a)** *Asterotheca* sp. (MP-Pb 3601, nível N8); **(b)** *Gangamopteris obovata* var. *major* (MP-Pb 3704, nível N8); **(c)** *Glossopteris occidentalis* (MP-Pb 3728A, nível N8); **(d)** *Brasilodendron pedroanum* (MP-Pb 4131, nível N8); **(e)** *Cordaites hislopii* com evidências de interações inseto-plantas do tipo remoção total da lâmina foliar – buracos de alimentação elipsoidais a ovais (MP-Pb 3655A, nível N7); **(f)** *Samaropsis* aff. *millaniana* (MP-Pb 3941, nível N8).

**Figure 7** - Plant fossils recovered from the Rio Bonito Formation: **(a)** *Asterotheca* sp. (MP-Pb 3601, level N8); **(b)** *Gangamopteris obovata* var. *major* (MP-Pb 3704, level N8); **(c)** *Glossopteris occidentalis* (MP-Pb 3728A, level N8); **(d)** *Brasilodendron pedroanum* (MP-Pb 4131, level N8); **(e)** *Cordaites hislopii* showing evidences of plant-insect interactions of the total removal of the foliar lamina-type - ellipsoidal to ovoidal shape of feeding holes (MP-Pb 3655A, level N7); **(f)** *Samaropsis* aff. *S. millaniana* (MP-Pb 3941, level N8).



cia de palinórfos junto às esses níveis impede uma interpretação paleoambiental definitiva desta porção da seção.

Em termos fitoestratigráficos, ocorrência da Zona *Botrychiopsis plantiana* (níveis N2, N3 e N4), previamente assinalada por Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), restringe-se aos depósitos do Subgrupo Itararé. Já a Zona de *Glossopteris/Rhodeopteridium* (níveis N7, N8 e, possivelmente, N5), reportada apenas recentemente por Vieira & Iannuzzi (2000), distribuiu-se ao longo da seção pelos estratos correspondentes à Formação Rio Bonito (Fig. 3). Baseado no conteúdo fitofossilífero dos níveis N2, N3 e N4, a Zona *Botrychiopsis plantiana* pode ser correlacionada à “Tafloflora Transicional” (= “Tafloflora A/B”) de Rösler (1978) ou à “Flora *Phyllothea-Gangamopteris*” de Iannuzzi & Souza (2005), ambas aplicáveis para as porções mais ao norte da Bacia do Paraná. Os megafósseis vegetais dos níveis N7 e N8 são similares àqueles encontrados nas “Taflofloras B e C” de Rösler (1978) e na “Flora *Glossopteris-Brasilodendron*” de Iannuzzi & Souza (2005), unidades fitoestratigráficas informais de abrangência bacinal. Os dados palinológicos obtidos ao longo da seção (níveis N1, N5 e N6) demonstram que as fitozonas de Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) equivalem a uma única palinozona, a Subzona *Protohaploxylinus goraiensis* da Zona *Vittatina costabilis* de Souza & Marques-Toigo (2003, 2005), que se distribui da base do Subgrupo Itararé até a porção média da Formação Rio Bonito, na seção do Morro do Papaléo (Fig. 3). A Zona de *Vittatina costabilis* foi considerada como sendo de idade Eopermiana (Souza & Marques-Toigo, 2003, 2005), estendendo-se do Asseliano ao Artinskiano precoce. Tendo em vista o intervalo estratigráfico representado pela exposição do Morro do Papaléo, uma idade correspondente ao Sakmario que, talvez, alcance o Artinskiano mais precoce, pode ser atribuída à seção descrita (Fig. 3).

Os estudos tafonômicos realizados por Iannuzzi *et al.* (2003a, b), nos níveis fitofossilíferos, indicaram que as associações do Morro do Papaléo foram preservadas em distintos sítios deposicionais. Na porção inferior, dentro dos ambientes lânticos (= lagunares/lacustres), as associações da Subzona *G. obovata* (nível N2) preservaram-se em depósitos subaquosos de ambientes proximais rasos, enquanto que às da Subzona *P. indica* (níveis N3 e N4), em depósitos na margem do corpo d’água, na interface com o ambiente subaéreo. Na porção superior da seção, as associações da Zona *Glossopteris/*

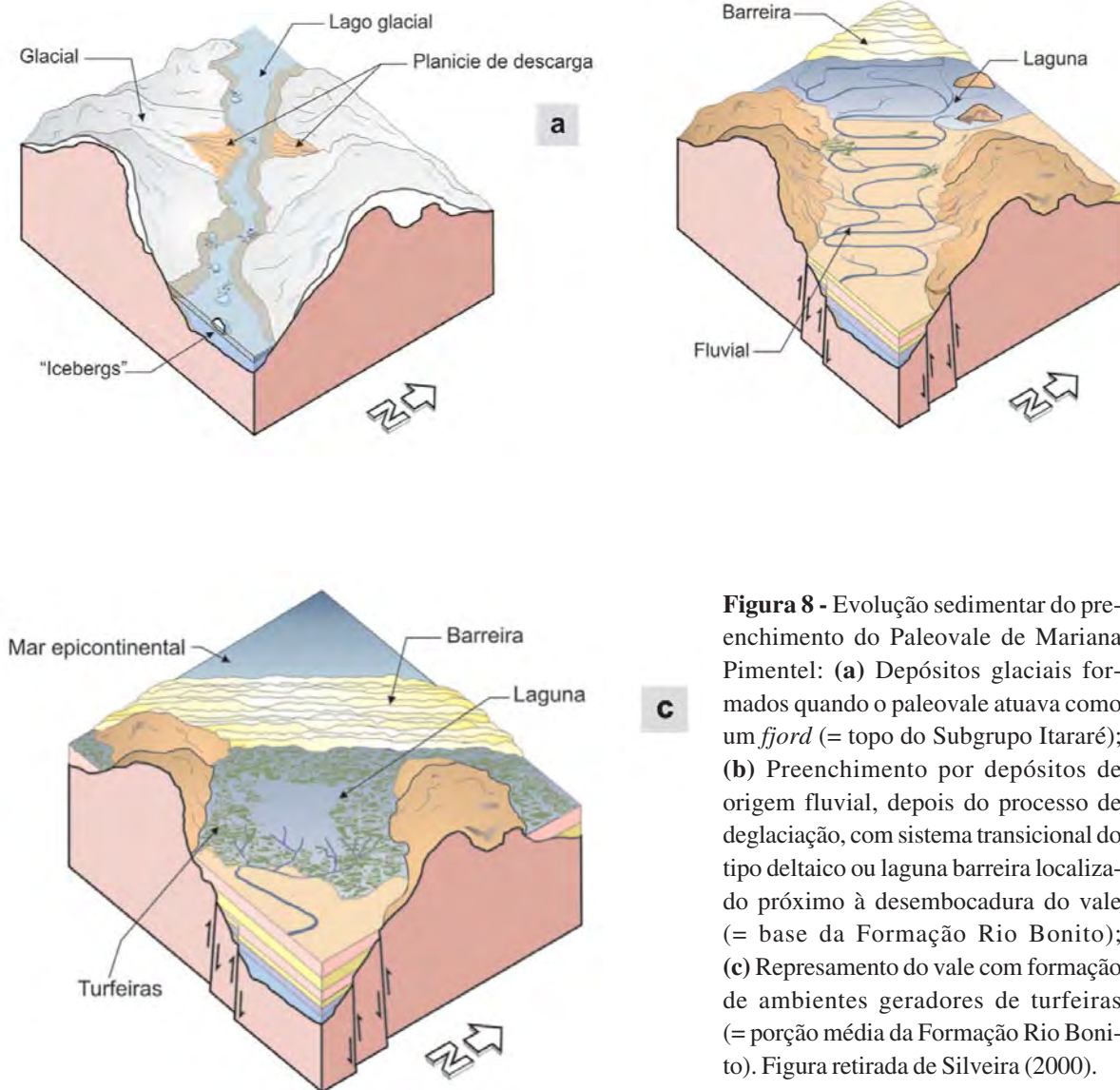
*Rhodeopteridium* (níveis N7 e N8) são encontradas em depósitos da planície de inundação do sistema fluvial (Fig. 3). As associações fitofossilíferas podem ainda ser classificadas quanto à sua origem, desde alotóctones até autóctones. Uma associação alo-/parautóctone é constatada na Subzona *G. obovata* (nível N2) e associações parautóctones a autóctones na Subzona *P. indica*; (níveis N3 e N4) e na Zona *Glossopteris/Rhodeopteridium* (níveis N7 e N8). Deste modo, dois tipos de paleocomunidades foram assinalados por Iannuzzi *et al.* (2003a, b), uma de plantas higro-mesófilas (na Subzona *P. indica*), relacionada à vegetação marginal que viveu junto a um corpo d’água de natureza, provavelmente, lacustre, e composta por esfenófitas, pteridospermas primitivas (elementos arbustivos), cordaitaleanas e glossopterídeas (elementos arbóreo-arbustivos); outra de plantas preponderantemente mesófilas (na Zona *Glossopteris/Rhodeopteridium*), associada a uma vegetação desenvolvida em planícies de inundação, dominada por vegetais lenhosos relacionados às cordaitaleanas e glossopterídeas (elementos arbóreo-arbustivos), tendo fetos e licófitas (elementos arbustivos) como representantes dos grupos pteridofíticos.

Interações inseto-planta têm sido reveladas por evidências de danos externos, presentes em algumas poucas impressões e contramoldes foliares (Adami-Rodrigues *et al.*, 2004a, b). A análise qualitativa deste registro feita, por Adami-Rodrigues *et al.* (2004a), revelou a presença de seis categorias de danos causados aos vegetais: atividade de alimentação de margem foliar descontínua externa, remoção total da lâmina foliar, provável mina, esqueletonização, atividade de perfuração-sugação e ovoposição. Atividades de alimentação em margem foliar e de perfuração-sugação foram assinaladas em folhas de *Glossopteris* e *Cordaites*, sendo ambos os tipos comumente encontrados na espécie *G. communis*. Remoção total foi constatada tipicamente em folhas de *Cordaites*, enquanto que esqueletonização foi identificada somente em folhas de *Glossopteris*. Uma provável mina está descrita para uma folha de *G. indica* e possíveis marcas de ovoposição de libélulas estão restritas a folhas de *Gangamopteris obovata* var. *major*.

Em termos de interpretações mais regionais, Paim *et al.* (1983) e Silveira (2000) sugeriram modelos de evolução paleogeográfica e paleoambiental para o Paleovale de Mariana Pimentel, com base na seção do Morro do Papaléo e em outras próximas e de testemunhos, todos situados ao longo do referido paleovale. Segundo esses modelos, durante o período de regime

glacial e de deglaciação ocorrido no final do Carbonífero e início do Permiano, respectivamente, o Paleovale de Mariana Pimentel teria funcionado como um *fjord*, abrigando os últimos registros de capas de gelo e os sedimentos gerados pelas subseqüentes inundações que resultaram nos depósitos assinalados para

o Subgrupo Itararé na área de Mariana Pimentel. Posteriormente, no Eopermiano (Sakmario-Artinskiano), ocorreu sedimentação sob regimes de ambientes fluvial, deltaico e transicional (sistema laguna-barreira), que eventualmente deram origem a depósitos carbonosos e são relacionados à Formação Rio Bonito (Fig. 8).



**Figura 8** - Evolução sedimentar do preenchimento do Paleovale de Mariana Pimentel: **(a)** Depósitos glaciais formados quando o paleovale atuava como um *fjord* (= topo do Subgrupo Itararé); **(b)** Preenchimento por depósitos de origem fluvial, depois do processo de deglaciação, com sistema transicional do tipo deltaico ou laguna barreira localizado próximo à desembocadura do vale (= base da Formação Rio Bonito); **(c)** Represamento do vale com formação de ambientes geradores de turfeiras (= porção média da Formação Rio Bonito). Figura retirada de Silveira (2000).

**Figure 8** - Evolution of the sedimentary infill of the Paleovalley: **(a)** Glacial deposits formed when the valley play has a fjord (=upper Itararé Subgroup); **(b)** Fluvial infill after the deglaciacion and transitional deltaic to barrier-lagoon located close to the mouth of valley (= lower Rio Bonito Formation); **(c)** Damping of the valley and generation of peat-forming environments (= middle Rio Bonito Formation). Figure from Silveira (2000).

## MEDIDAS DE PROTEÇÃO

O Município de Mariana Pimentel encontra-se incorporado à área abrangida pelo programa estadual Pró-Guaíba, um projeto com financiamento do BID, Banco Interamericano de Desenvolvimento, que visa promover o desenvolvimento sócio-ambiental da Região Hidrográfica do Guaíba. Entre as diversas ações previstas e já em execução no programa Pró-Guaíba, há o levantamento e preservação do patrimônio natural, onde se encaixam os sítios geológicos e paleontológicos. Neste sentido, Mariana Pimentel foi incluído no plano diretor elaborado como um dos municípios que apresentam áreas de interesse para preservação de acervo paleontológico. Deste modo, além do reconhecimento por seu acervo, o município pode pleitear recursos junto ao programa ou mesmo junto a outras entidades com vistas a efetivar a preservação de seu patrimônio. Assim sendo, a prefeitura de Mariana Pimentel tem tomado algumas iniciativas neste sentido, como por exemplo, a construção do “Farol do Saber”, um centro cultural que abrigará parte do acervo histórico, arqueológico e paleontológico do município. Além de conter uma exposição permanente dos referidos acervos, haverá uma programação voltada às escolas, comunidades locais e turistas, a fim de conscientizar a população da importância do acervo e, portanto, de sua conservação. Em relação à proteção da localidade ou sítio propriamente dito, estão sendo feitas negociações junto ao atual proprietário do terreno, um dos ex-prefeitos do município, para que ocorra um futuro isolamento da área e ações mais efetivas para sua conservação. De qualquer modo, o sítio encontra-se relativamente protegido, uma vez que não há mais atividades mineradoras na área, estando salvaguardado pelo proprietário do terreno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adami-Rodrigues, K.; Iannuzzi, R.; Pinto, I.D. 2004a. Permian plant-insect interactions from a Gondwana flora of southern Brazil. *Fossil & Strata*, **51**:106-126
- Adami-Rodrigues, K.; Souza, P.A.; Iannuzzi, R.; Pinto, I.D. 2004b. Herbivoria em floras gondvânicas do Neopaleozóico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa. *Rev. Bras. Paleontologia*, **7**(2):93-102.
- Burjack, M.I.A.; Cazzulo-Klepzig, M.; Dias-Fabrício, M.A.; Guerra-Sommer, M.; Marques-Toigo, M.; Paim, P.S.; Lavina, E.L. 1982. Perfil Paleoecológico do Afloramento Morro do Papaléo, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul, Brasil. *In: SBG, Congr. Brasil. Geol.*, **32**, *Anais*, v.4, p. 1260-1270.
- Cazzulo-Klepzig, M.; Guerra-Sommer, M.; Bossi, G.E. 1980. Revisão Fitoestratigráfica do Grupo Itararé no RS. I Acampamento Velho, Cambaí Grande, Budó e Morro do Papaléo. *Bol. Inst. Geoc. da Universidade de São Paulo*, **11**:55-76.
- Corrêa da Silva, Z.C. 1978. Observações sobre o Grupo Tubarão no Rio Grande do Sul com especial destaque à estratigrafia da Formação Itararé. *Rev. Pesquisas Inst. Geoc. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, **9**:9-61.
- Corrêa da Silva, Z.C.; Arrondo, O.G. 1977. Tafloflora Permiana de Mariana Pimentel, Município de Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rev. Pesquisas Inst. Geoc. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, **7**:27-44.
- Formoso, M.L.L. 1968. Alguns aspectos geológicos e tecnológicos das principais ocorrências de argilas no Rio Grande do Sul. *Rev. Cerâmica*, **14**(53):1-13.
- Guerra-Sommer, M.; Cazzulo-Klepzig, M. 1993. Biostratigraphy of the Southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana Sequence: A Preliminary Paleobotanical Approach. *In: AGA, Int. Congrès Strat. Géol. Carbonifère et Permien*, **12**, 1991, *Comptes Rendus*, v.2, p. 61-72.
- Holz, M. 1997. Early Permian Sequence Stratigraphy and Paleophysiology of the Paraná Basin in northeastern Rio Grande do Sul State, Brazil. *An. Acad. brasil. Ci.*, **69**(4):521-543.
- Holz, M. 1998. The Eo-Permian coal seams of the Paraná basin in southernmost Brazil: An analysis of the depositional conditions using sequence stratigraphy concepts. *Int. J. Coal Geol.*, **36**:141-163.
- Holz, M. 1999. Early Permian sequence stratigraphy and the palaeophysiological evolution of the Paraná Basin in southernmost Brazil. *J. African Earth Sc.*, **29**(1): 51- 61.
- Holz, M. 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system – an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. *Sedim. Geol.*, **162**(3-4): 301 – 327.
- Iannuzzi, R. 2000. Presença do gênero *Stephanophyllites* em estratos Eopermianos do Rio Grande do Sul (Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná). *Rev. Univ. Guarulhos*, **5**(no. especial):74-77.
- Iannuzzi, R.; Souza, P.A. 2005. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-dated overview. *New Mexico Mus. Nat. Hist. Sc. Bull.*, **30**: 144-149.
- Iannuzzi, R.; Marques-Toigo, M.; Scherer, C.M.S.; Caravaca, G.; Vieira, C.E.L.; Silva, L.P. 2003a. Reavaliação da fitobioestratigrafia da Sequência Gondvânica sul-riograndense: estudo de caso do afloramento Morro do Papaléo (Bacia do Paraná, Permiano Inferior). *In: PRONEX/UFRGS/CNPq, Encontro sobre a estratigrafia*

- do Rio Grande do Sul: escudos e bacias, 1, *Anais*, p. 182-185.
- Iannuzzi, R.; Marques-Toigo, M.; Scherer, C.M.S.; Caravaca, G.; Vieira, C.E.L.; Silva, L.P. 2003b. Phytobiostratigraphical revaluation of the Southern Brazilian Gondwana sequence (Paraná Basin, Lower Permian). In: TNO/KNGMG/University Utrecht, Int. Congr. Carboniferous & Permian Strat., 15, *Abstracts*, p. 240-242.
- Lavina, E.L.; Lopes, R.C.; Faccini, U.F.; Ribeiro, H.J.P.S.; Schultz, C.L. 1992. O sistema Permo-Triássico da Bacia do Paraná no Estado do RS. In: SBP, Congr. Brasil. Paleont., 13, e Simp. Paleont. Cone Sul, 1, *Anais*, p. 32.
- Paim, P.S.G.; Piccoli, A.E.M.; Sarturi, J.A.D.; Munaro, P.; Holz, M.; Granitoff, W. 1983. Evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão na área de Mariana Pimentel-Faxinal, Guaíba, RS. In: SBG, Simp. Sul-Brasileiro Geol., 1, *Atas*, p. 121-134.
- Pasqualini, M.; Cunha, A.S.; Guerra-Sommer, M.; Piccoli, A.E.M. 1986. Análise paleoecológica de seqüências paleoflorísticas na área de Mariana Pimentel-Guaíba, RS. In: SBG, Congr. Brasil. Geol., 34, *Anais*, v.1, p. 556-569.
- Piccoli, A.E.M.; Paim, P.S.G.; Sarturi, J.A.D.; Holz, M.; Munaro, P.; Granitoff, W. 1983. Geologia do Supergrupo Itararé na região de Mariana Pimentel-Faxinal, Guaíba, RS. In: SBG, Simp. Sul-Brasileiro Geol., 1, *Atas*, p. 135-152.
- Rösler, O. 1978. The Brazilian eogondwanic floral succession. *Bol. Inst. Geoc. da Universidade de São Paulo*, 9:85-90.
- Silva Filho B.C. 1974. Discordância entre o Supergrupo Itararé e a Formação Rio Bonito no Estado do Rio Grande do Sul. In: SBG, Congr. Brasil. Geol., 28, *Anais*, v.2, p. 59-67.
- Silva, L.P.; Iannuzzi, R. 2000. *Cheirophyllum speculare* Césari & Cúneo e ?*Dicranophyllum* sp., novas formas afins as Ginkgophyta na seqüência Gondvânica Neopaleozóica do Sul do Brasil. *Rev. Univ. Guarulhos*, 5(no. especial):40-43.
- Silveira, A.S. 2000. *Estratigrafia de Seqüências e Evolução Paleoambiental da Sucessão Permiana (Sakmariano – Eokazaniano) da Bacia do Paraná, entre Rio Pardo e Mariana Pimentel (RS)*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 140 p.
- Smaniotto, L.P.; Fischer, T.V.; Souza, P.A.; Iannuzzi, R. 2006. Palinologia do Morro do Papaléo, Mariana Pimentel (Permiano Inferior, Bacia do Paraná), rio Grande do Sul, Brasil. *Rev. Bras. Paleontologia*, 9(3), no prelo.
- Souza, J.M.; Iannuzzi, R. 2006. Estudo das sementes fósseis do gênero *Samaropsis* Goeppeert no afloramento Morro do Papaléo (Permiano Inferior), Bacia do Paraná, RS, Brasil. *Rev. Bras. Paleontologia* (no prelo).
- Souza, P.A.; Marques-Toigo, M. 2003. An overview on the palynostratigraphy of the Upper Paleozoic strata of the Brazilian Paraná Basin. *Rev. Museo Argentino Cs. Nat., nueva serie*, 5(2):205-214.
- Souza, P.A.; Marques-Toigo, M. 2005. Progress on the palynostratigraphy of the Permian strata in Rio Grande do Sul State, Paraná Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 77:353-365.
- Tybusch, G.P. 2005. *Análise taxonômica de tipos foliares de glossopterídeos em depósitos do Permiano Inferior da Baixa do Paraná, Rio Grande do Sul: Rubidgea spp., Gangamopteris spp., Glossopteris occidentales, G. browniana*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 102 p.
- Vieira, C.E.L.; Iannuzzi, R. 2000. Presença de *Pecopteris* e *Asterotheca* no afloramento Morro do Papaléo, município de Mariana Pimentel, RS (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná). *Rev. Pesquisas Inst. Geoc. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 27:49-64.

<sup>1</sup> Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Cx. P. 15.001 – Porto Alegre – RS – 91.501-970 – Brasil – roberto.iannuzzi@ufrgs.br

<sup>2</sup> PETROBRAS – UM-BC/ATEX/SE – Brasil.

<sup>3</sup> Centro de Ciências biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Campus Floresta –

R. Paraná, 860 – Cruzeiro do Sul – AC – 69.980-000 – Brasil.

<sup>4</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Av. Unisinos, 950 – Cristo Rei – São Leopoldo – RS – 93022-000 – Brasil.

■ Trabalho divulgado no site da SIGEP <<http://www.unb.br/ig/sigep>>, em 11/12/2006.





#### **ROBERTO IANNUZZI**

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo (1990), Mestre em Geociências pela Universidade de São Paulo (1994), Doutor em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1999) e pós-doutorado na University of Pennsylvania, E.U.A. (2004). Foi diretor do Centro de Investigações do Gondwana (2004-2008) e vice-presidente da Associação Latino Americana de Paleobotânicos e Palinólogos (2004-2008). Atualmente, é professor adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, consultor da Fundação de Apoio a Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina e Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Paleontologia Estratigráfica e Paleobotânica, atuando nos seguintes temas: taxonomia paleobotânica, paleofitogeografia, fitoestratigrafia, paleoecologia vegetal.



#### **CLAITON MARLON DOS SANTOS SCHERER**

Geólogo graduado na UFRGS em 1991. Desenvolveu Mestrado (1994) e Doutorado (1998) no Curso de Pós-graduação em Geociências da UFRGS, abordando a estratigrafia e sedimentologia dos depósitos mesozóicos da Bacia do Paraná. É professor no Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, IG-UFRGS, onde ministra as disciplinas de Estratigrafia II, Trabalho de Campo III e Projeto Temático II. É Orientador de mestrado e doutorado no curso de Pós-graduação em Geociências da UFRGS desde 1998, sendo regente das disciplinas "Estratigrafia Aplicada" e "Sistemas Depositionais Terrígenos". Realiza pesquisa nas áreas de sedimentologia e estratigrafia, tendo publicado inúmeros artigos sobre o tema em periódicos nacionais e internacionais



#### **PAULO ALVES DE SOUZA**

Graduou-se em Geologia (1991) e possui mestrado e doutorado em Geologia Sedimentar (Paleontologia e Bioestratigrafia) pela Universidade de São Paulo. Entre 1992 e 2002 foi pesquisador científico no Instituto Geológico/SMA-SP, atuou como pesquisador visitante na Universidade de Tübingen, Alemanha, membro do Comitê de Geociências da FAPERGS, e presidente da Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología, ALPP. Desde 2002 é professor adjunto e orientador permanente do Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é coordenador do Laboratório de Palinologia do DPE/IG/UFRGS, e bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq. Tem experiência em Palinologia e Paleontologia Estratigráfica, com trabalhos versando sobre palinotaxonomia, bioestratigrafia, palinofácies, paleoambiente e paleoecologia.



#### **MICHAEL HOLZ**

Geólogo com Ph.D. em estratigrafia, trabalha com sistemas deposicionais e estratigrafia de seqüências na UFRGS. Sua principal área de conhecimento é estratigrafia de seqüências siliciclásticas e sistemas deposicionais parálicos, tendo publicado artigos em revistas como *Journal of South American Earth Science*, *Sedimentary Geology*, *Coal Geology* e *Sedimentology*, além de diversos capítulos de livros publicados no Brasil, Alemanha e USA. Como pesquisador e consultor, trabalhou em cooperação com outras universidades no Brasil (e.g.; UFBA, UFRJ) e no exterior (e.g.; FU Berlin), com empresas (e.g.; Petrobrás, El Paso do Brasil) e com a Agência Nacional do Petróleo (ANP), desenvolvendo análises em diversas bacias sedimentares brasileiras.



#### **GERSON CARAVACA**

Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande Sul (UFRGS) e Mestre em Geociências pela mesma instituição, desenvolvendo estudos na área de Estratigrafia. Atualmente é geólogo da PETROBRAS, trabalhando no setor de Estratigrafia e Sedimentologia da Unidade de Negócios da Bacia de Campos, Macaé, RJ.



#### **KAREN ADAMI RODRIGUES**

Graduada em Biologia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Mestre em Geociências, com ênfase em Paleontologia de Invertebrados, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Doutora em Geociências, com ênfase em Paleoecologia, Interação Inseto-planta, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente é professora da Universidade Federal do Acre, Campus Floresta, ministrando as disciplinas de Paleontologia, Evolução, Biologia de Campo e Geologia para Biocientistas. Coordenadora Institucional do projeto PIATAM Oeste – Petrobrás, desenvolve projetos de pesquisa no Permo/Triássico da Argentina, Chile e Mioceno do Vale do Juruá – Acre.



#### **GRACIELA PEREIRA TYBUSCH**

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e mestre em Geociências pela mesma instituição, com ênfase em Paleontologia. Atualmente é aluna de doutorado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Tem experiência na área de Biologia geral e Geociências, com ênfase em Paleontologia, atuando principalmente nos seguintes temas: paleontologia geral e paleobotânica.



#### **JULIANE MARQUES DE SOUZA**

Graduada em Biologia (Licenciatura) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e mestre em Geociências, com ênfase em Paleobotânica, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente é doutoranda do curso de Geociências com ênfase em Paleontologia - Paleobotânica pela UFRGS.



#### **LARISSA PALUDO SMANIOTTO**

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e mestranda em Palinologia do Paleozóico da Bacia do Amazonas pela mesma instituição.



#### **TIAGO VIER FISCHER**

Geólogo formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2009). É aluno do Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS na área de estratigrafia, atuando com micropaleontologia pelo Laboratório de Palinologia do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da UFRGS. Durante a graduação atuou em iniciação científica com bolsas remunerada pelos programas PIBIC/CNPq/UFRGS, PROBIC/FAPERGS e PRH-12 da Agência Nacional do Petróleo (ANP). É membro da Sociedade Brasileira de Paleontologia (SBP) e da Asociación Latinoamericana de Paleobotánicos y Palinólogos (ALPP).



#### **ARIANE SANTOS DA SILVEIRA**

Graduada em Geologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e mestre na área de Sedimentologia e Estratigrafia, pela mesma instituição. Atualmente trabalha como pesquisadora no PPGGeo da Unisinos, e doutoranda na área de Estratigrafia e Sedimentologia, com ênfase na área de modelagens estratigráfica e sísmica 3D.



#### **RICARDO LYKAWKA**

Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com especialização em Geologia do Petróleo. Atualmente é mestrando de Estratigrafia e Sedimentologia da UFRGS e trabalha na construção de modelos geológicos numéricos para o plano de desenvolvimento dos campos de petróleo da Petrobras.



**DAIANA ROCKENBACH BOARDMAN**

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), com mestrado em Geociências, na área de Paleontologia (ênfase em Paleobotânica) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente, é doutoranda, nesta mesma instituição, buscando integrar dados paleobotânicos e palinológicos em depósitos permianos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.



**EDUARDO GUIMARÃES BARBOZA**

Graduado em Geologia (Bacharelado) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutor em Ciências, com ênfase em Estratigrafia pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS. Atualmente é Professor Adjunto da UFRGS junto ao Departamento de Paleontologia e Estratigrafia ministrando disciplinas nas áreas de Estratigrafia e Geologia Costeira.



## **Anexo C**

“New evidence of plant-insect interactions in the Lower Permian from Western Gondwana”. E.R.S. PINHEIRO, G.P. TYBUSCH AND ROBERTO IANNUZZI.  
*The Palaeobotanist* 61(2012): 67-74, 2012.

# New evidence of plant-insect interactions in the Lower Permian from Western Gondwana

E.R.S. PINHEIRO\*, G.P. TYBUSCH AND ROBERTO IANNUZZI

Laboratório de Paleobotânica, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, prédio 43127/213, CEP 91509-900, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.  
\*Corresponding author: esther.pinheiro@ufrgs.br

(Received 23 March, 2011; revised version accepted 23 December, 2011)

## ABSTRACT

Pinheiro ERS, Tybusch GP & Iannuzzi R 2012. New evidence of plant-insect interactions in the Lower Permian from Western Gondwana. The Palaeobotanist 61(1): 67-74.

A new record of insect damages-containing glossopterid leaves is recovered from the Rio da Estiva outcrop, Itaiópolis country, northernmost Santa Catarina State, southern Brazil. The plant fossil-bearing strata are situated, stratigraphically, from the basal to middle part of the Rio Bonito Formation, a unit of the Lower Permian sequence of the Paraná Basin. This plant assemblage is characterized as "pure *Glossopteris* Flora", and contains remains of glossopterid leaves (*Glossopteris* spp. and *Gangamopteris* sp.), seeds (*Samaropsis* sp. and *Cordaicarpus* sp.) and fructification (*Ottokaria* sp.). We analyzed 102 samples, of which only ten showed evidence of insect damages. Three types of leaf feeding traces are observed: leaf margin feeding traces, hole feeding traces and trench feeding traces. The damages occurred in leaves of *Glossopteris* sp., *Glossopteris communis*, *Glossopteris occidentalis* and *Gangamopteris obovata*. The evidence of consumption of foliar tissues indicated that glossopterids hosted a functional feeding group of predominantly chewing and sucking type of insects. The differences found in the patterns and frequencies of consumption in different localities of equivalent ages suggested that herbivory was more intensive in some plant communities than in others. Besides this, the present study expanded geographically the distribution of records of plant-insect interactions in "*Glossopteris* flora" through the central portion of the eastern rim of Paraná Basin.

**Key-words**—*Glossopteris* flora, Herbivory, Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Early Permian.

पश्चिमी गोंडवाना से प्राप्त निम्न पर्मियन में पादप-कीट अन्योन्य-क्रियाओं का नवीन प्रमाण

ई आर एस पाइन्हीरो, जी.पी. टायबुश एवं राबर्टो इआन्नुज़ी

## सारांश

रियो डा एस्टिवा शैल दृश्यांश, ईटइओपोलिस देश, सुदूरउत्तरी सेंटा कैटरिना राज्य, दक्षिणी ब्राज़ील से कीट क्षति-ग्लोसोप्टेरिड पत्तियां सन्निहित नवीन अभिलेख प्राप्त हुआ है। पादप जीवाश्म-धारी पट्टीदार पराना द्रोणी निम्न पर्मियन अनुक्रम की यूनिट रियोबॉनिटो शैलसमूह के आधार से मध्य भाग तक स्तरिक रूप में स्थित हैं। पादप समुच्चय "शुद्ध ग्लोसोप्टेरिस वनस्पति-जात" के रूप में विशिष्ट गुणयुक्त है तथा ग्लोसोप्टेरिड पत्तियों (*ग्लोसोप्टेरिस* जातियां व *गंगामोप्टेरिस* जाति), बीज (*सैमरॉप्सिस* जाति व *कॉर्डैकार्पस* जाति) एवं फलनों (*ओट्टोकेरिया* जाति) के अवशेष सन्निहित है। हमने 102 नमूने विश्लेषित किए जिनमें से दस ने कीट क्षति के प्रमाण दर्शाए। तीन तरह के पत्ती आहार अनुपथ प्रेक्षित किए गए हैं: पत्ती उभ्रत आहार अनुपथ, छिद्र आहार अनुपथ एवं खांचा आहार अनुपथ। *ग्लोसोप्टेरिस* जाति, *ग्लोसोप्टेरिस कम्युनिस*, *ग्लोसोप्टेरिस ओसिडेंटैलिस* एवं *गंगामोप्टेरिस ओबोवेटा* की पत्तियों में क्षति हुई। पर्मियन उतकों के उपभोग के प्रमाण ने इंगित किया कि ग्लोसोप्टेरिडों ने प्रबल पूर्व चबाने के एक क्रियात्मक आहार समूह तथा चूषक प्रकार के कीटों की परपोषी की। सम आयु की विविध उपवस्तियों में खपत के प्रसूतों एवं आवृत्तियों में पाए गए भेदों ने सुझाया कि कुछ पादप समुच्चयों की अपेक्षा अन्य में शाकाहारी वर्ग ज़्यादा गहन था। इसके अलावा, मौजूदा अध्ययन ने पराना द्रोणी में पूर्वी परिधि के मध्य भाग से "*ग्लोसोप्टेरिस* पेड़-पौधे" में पादप-कीट परस्पर क्रियाओं के अभिलेखों को भौगोलिक रूप से विस्तृत किया।

**संकेत-शब्द**—*ग्लोसोप्टेरिस* पेड़-पौधे, शाकाहारी वर्ग, रियो बॉनिटो शैलसमूह, पराना द्रोणी, पर्मियन पूर्व।

## Novas evidências de interações inseto-plantas no Permiano Inferior do Gondwana

### RESUMO

Um novo registro de folhas de glossopterídeas contendo danos por insetos foi obtido no afloramento de Rio da Estiva, município de Itaiópolis, região norte do Estado de Santa Catarina, no Brasil meridional. Os estratos portadores dos fitofósseis estão situados, estratigraficamente, na porção basal a mediana da Formação Rio Bonito, uma unidade do Permiano Inferior da Bacia do Paraná. Esta assembléia fitofossilífera é considerada como uma "Flora de *Glossopteris* pura", contendo restos de folhas de glossopterídeas (*Glossopteris* spp. e *Gangamopteris* sp.), sementes (*Samaropsis* sp. e *Cordaicarpus* sp.) e frutificações (*Ottokaria* sp.). Foram analisadas 102 amostras, das quais somente dez mostram evidências de danos por insetos. Três padrões de consumo foliar foram observados: traços de alimentação marginal, traços de alimentação circular e de alimentação linear sobre lâmina. Os danos foram observados em folhas de *Glossopteris* sp., *Glossopteris communis*, *Glossopteris occidentalis* e *Gangamopteris obovata*. A evidência de consumo de tecidos foliares indica que as glossopterídeas eram herbivorizadas por insetos predominantemente com aparelho bucal mastigador. As diferenças encontradas nos padrões de frequência de herbivoria entre as diferentes localidades de idades equivalentes sugeriram que a atividade foi mais intensa em algumas comunidades do que em outras. Além disso, o presente estudo expandiu geograficamente a distribuição de registros de interação inseto-planta na flora de glossopteris através da porção central da margem oriental da Bacia do Paraná.

**Palavras-chave**—Flora de *Glossopteris*; Herbivoria, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná, Eopermiano.

### INTRODUCTION

The analysis of interactions between plants and insects in the fossil record is an expanding field in Palaeontology. Herbivory is normally studied through the evidences preserved in leaf compressions and impressions, since leaves are the most common plant organ in the fossil record. The evidence of plant-insect interactions for the Palaeozoic includes herbivory, galls, possible mines, oviposition and leaf skeletonization (Beck & Labandeira, 1998; Adami-Rodrigues *et al.*, 2004a). To recognize herbivory in the fossil record, it is normally necessary to detect the presence of plant reaction tissues such as calluses or anomalous tissues induced by trauma while the plant organ was still alive (Meyer & Maresquelle, 1983; Labandeira, 1998).

The record of vascular plants, arthropods, and their probable interactions is well described for the Palaeozoic. The Palaeozoic insects are comparable to modern forms in terms of mouthparts (Labandeira, 1997) and functional feeding groups (Labandeira, 1998). Some authors have suggested that groups of insects have been herbivorous since the Palaeozoic (Popov & Wootton, 1977; Labandeira, 1998), and some were already endophytic (Labandeira & Phillips, 1996). Records of plant-insect associations start in the Devonian but become more common during the Carboniferous, highlighting especially those from coal balls associated with Euroamerican swamp forests (Scott & Taylor, 1983; Scott *et al.*, 1985; Labandeira & Beal, 1990; Chaloner *et al.*, 1991; Scott *et al.*, 1992; Labandeira & Phillips, 1996; Labandeira *et al.*, 1997; Labandeira, 1998, 2002, 2006). In comparison, studies on phytophagy for that period are extremely rare in Gondwana (Iannuzzi & Labandeira, 2008).

For the Permian, the direct evidence of plant-insect associations decreased in general globally. In Gondwana, these records are even more scarce (Labandeira, 2002, 2006). For the Indian Permian deposits, Chauhan *et al.* (1985), Srivastava (1987, 1996), Srivastava and Srivastava (2010), Srivastava and Agnihotri (2011) reported evidence of plant consumption by arthropods. Guerra-Sommer (1995) and Adami-Rodrigues *et al.* (2004a, b) described evidence of phytophagy in glossopterids for the Lower Permian in Brazil. Prevec *et al.* (2009) identified new evidence of plant-insect associations in the South African Upper Permian strata. Recently, McLoughlin (2011) described galls and oviposition scars from Permian glossopterid foliage from Australia and South Africa.

During the Permian, the Gondwana continent was almost entirely covered by a well-known vegetation known as "*Glossopteris* flora" (Wnuk, 1996). Particularly, in the Paraná Basin, the record of "*Glossopteris* flora" is mostly characterized by remains of sphenopsid stems (*Paracalamites* sp.) and leaf shoots (*Phyllothea* spp., *Sphenophyllum* spp., *Schizoneura* sp.), lycopsid stems (*Brasilodendron* sp., *Lycopodiopsis* sp.), fronds of ferns (*Pecopteris* spp., *Sphenopteris* spp.), leaves of glossopterids (*Glossopteris* spp., *Gangamopteris* spp.) cordaitaleans (*Cordaites* sp.) and seeds (*Cordaicarpus* spp., *Samaropsis* spp.), among other types of plant remains (Rösler, 1978; Bernardes-de-Oliveira, 1980; Rohn & Rösler, 2000; Iannuzzi & Souza, 2005; Tybusch & Iannuzzi, 2008; Iannuzzi, 2010).

Records of foliar feeding traces are rare for Gondwana as a whole. In this context, our main goal was to report and analyze new evidences of plant-insect interactions found in the *Glossopteris* flora plant assemblage from the Lower Permian of the Paraná Basin, southern Brazil. This contribution is part of the Master Thesis of the senior author (E.R.S. Pinheiro).

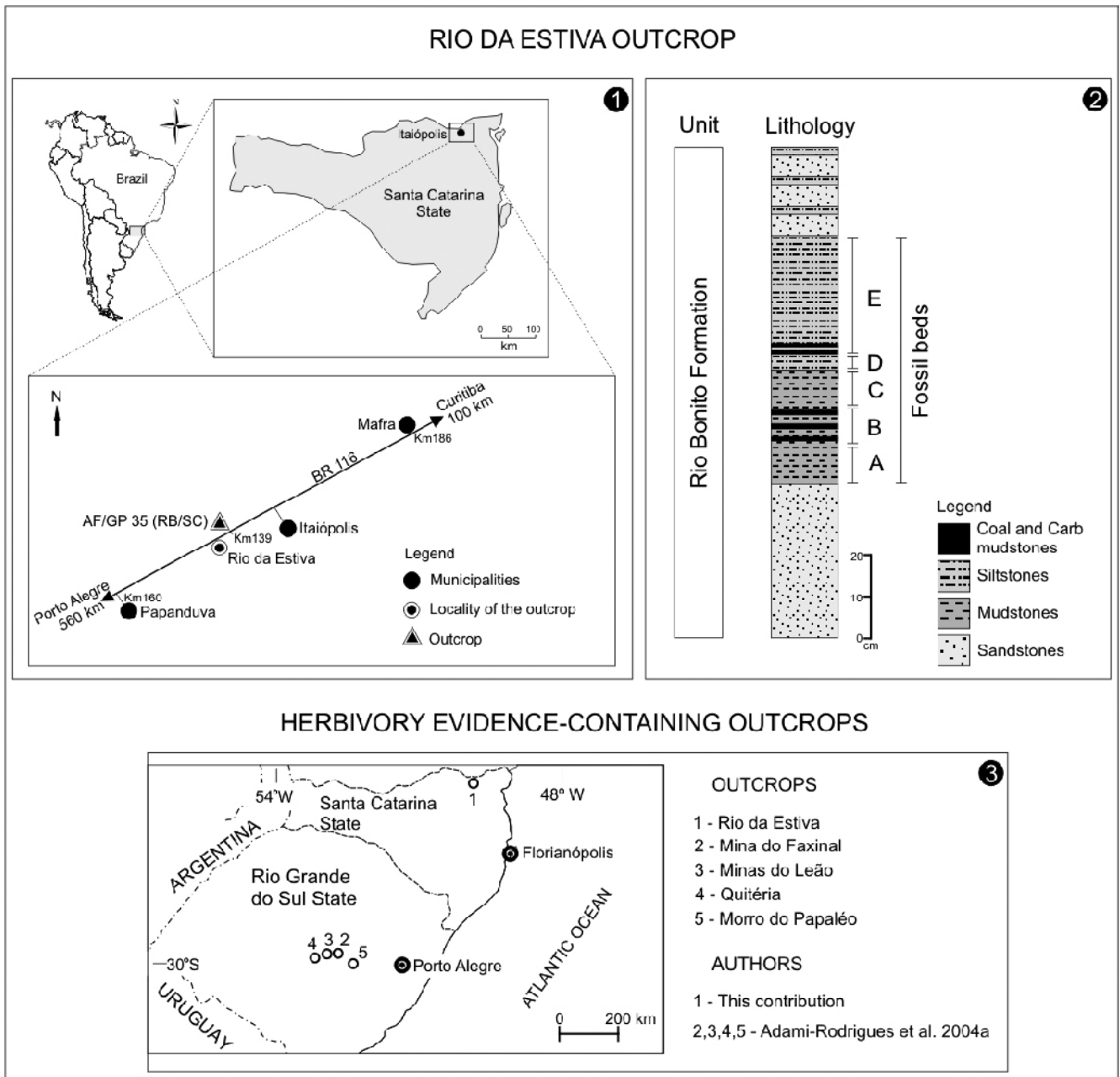


Fig. 1—Location map (1) and stratigraphic section (2) of the Rio da Estiva outcrop, Santa Catarina State, southern Brazil. (3) Distribution of all known herbivory evidence-containing outcrops found in the Lower Permian of the Paraná Basin, including the Rio da Estiva outcrop.

**MATERIAL AND METHODS**

The material studied was recovered from the Rio da Estiva outcrop (26°16'S - 49°53'W), which is revealed by a narrow road cut on highway BR-116 (Km 139), between Mafra and Papanduva counties, and in the Itaiópolis county, northernmost Santa Catarina State (Fig. 1). The plant fossil-bearing strata are situated, stratigraphically, in the basal to middle part of the Rio Bonito Formation (Fig. 1), a unit of the Lower Permian sequence in the Paraná Basin (Rösler, 1975).

These strata consist mainly of thin mudstones containing several coal-bearing lenses interbedded with sandstone and siltstone beds; the total exposure is only 60 cm thick (Rösler, 1975).

The plant assemblage was defined by Rösler (1978) as “pure *Glossopteris* flora”, and contains impressions/compressions of glossopterid leaves (*Glossopteris* spp. and *Gangamopteris* sp.), seeds (*Samaropsis* sp. and *Cordaicarpus* sp.) and glossopterid fructifications (*Ottokaria* sp.) (Rösler, 1975, 1978). This assemblage was originally considered as

belonging to the Artinskian-Kungurian interval by Rösler (1978). However, an age between Late Sakmarian and Early Artinskian can be accepted for the assemblage because of recent advances in radiometric dating for correlative deposits of the Rio Bonito Formation from the Rio Grande do Sul State (Iannuzzi, 2010).

Medeiros and Thomaz-Filho (1973) characterized, sedimentologically, the area as a periodically flooded tidal flat within a deltaic system, which should explain by Rösler (1975) the succession of very thin coal lenses found along the fossiliferous beds. Despite this, Rösler (1975) did not resolve several questions about the interpretation of the depositional environment present in this outcrop section.

The samples are housed in the paleontological collection of the Department of Sedimentary Geology and Ambiental of the Instituto of Geociências, Universidade de São Paulo (GSA-IG-USP), in São Paulo, Brazil.

## RESULTS

Initially, we inspected each leaf impression searching for the presence of all kinds of damage as described in the literature for the Permian (Beck & Labandeira, 1998; Adami-Rodrigues *et al.*, 2004a), such as: (a) feeding activity at the foliar apex, (b) leaf margin feeding, (c) hole feeding of foliar lamina, (d) trench feeding of the foliar lamina, (e) skeletonization, (f) oviposition scars, (g) punctures, (h) mines, and (i) galls.

However, in total, 102 samples of fossil leaves were analyzed, the insect-plant interactions were present in only ten of these samples and three types of damages were assigned for them: leaf margin feeding, hole feeding of foliar lamina, and trench feeding of the foliar lamina.

### Feeding traces

#### a. Leaf margin feeding traces

*Specimens studied* (Pl. 1.1, 2)

*Glossopteris* sp.: GP/3T2441(A) and GP/3T2443;

*Glossopteris communis* Feistmantel 1876: GP/3T2447, GP/3T2448, and GP/3T2449;

*Gangamopteris obovata* (Carruthers) White 1908: GP/3T2450.

*Description*—Marginal traces of foliar excision. There is the presence of a plant defense mechanism with clear reaction tissue rims, evidenced by a thickening of the coloured contour surrounding the leaf edge where phytophagy has taken place.

*Dimensions*—Excisions 5 to 17 mm long on the foliar edge.

#### b. Hole feeding traces

*Specimens studied* (Pl. 1.2, 3, 5)

*Glossopteris* sp.: GP/3T2441(A), GP/3T2441(B), GP/3T2441(C), and GP/3T2441(D);

*Glossopteris communis*: GP/3T2445, GP/3T2447, and GP/3T2448.

*Description*—Complete consumption of all foliar tissues within a circumscribed region of a leaf, resulting in circular polylobate surface patterns surrounded by apparently a pronounced reaction rims similar to the ones described above to *foliar margin feeding*. The cavity resulting from removal has the major axis aligned with the direction of secondary venation of the foliar lamina.

*Dimensions*—Ellipses with the major axis ranging from 0.5 to 9 mm in length.

#### c. Trench feeding traces

*Specimens studied* (Pl. 1.2, 4, 5, 6, 7)

*Glossopteris* sp.: GP/3T2441(A), GP/3T2441(B), GP/3T2441(C), GP/3T2441(D), and GP/3T2443;

*Glossopteris communis*: GP/3T2439(A), GP/3T2439(B), GP/3T2446, and GP/3T2447;

*Glossopteris occidentalis* White 1908: GP/3T2442.

*Description*—Elongate structures parallel to the secondary venation of the leaf, surrounded by a reddish

## PLATE 1



Evidence of herbivory in glossopterid leaves from the Rio da Estiva outcrop, in the Lower Permian strata from the southern Paraná Basin. In:

- |  |  |
|--|--|
| <p>1. <i>Gangamopteris obovata</i> (GP/3T 2450), with evidence of foliar margin feeding.</p> <p>2. <i>Glossopteris</i> sp. (GP/3T 2441A), showing margin, ovoid and linear consumptions.</p> <p>3. <i>Glossopteris communis</i> (GP/3T 2445), exemplifying ovoid removal of foliar lamina (arrow).</p> <p>4. <i>Glossopteris communis</i> (GP/3E 2439B), with linear removal of foliar lamina.</p> | <p>5. <i>Glossopteris</i> sp. (GP/3T 2441B), with ovoid and linear removals.</p> <p>6. <i>Glossopteris occidentalis</i> (GP/3T 2442), general view of leaf showing linear removal of foliar lamina (arrow).</p> <p>7. <i>Glossopteris occidentalis</i> (GP/3T 2442), detail of linear removal of foliar lamina, showing a reaction tissue rim and the parallel position in relation to the secondary venation.</p> |
|--|--|

Scales: white bars = 1 cm, black bar = 0.5 cm.

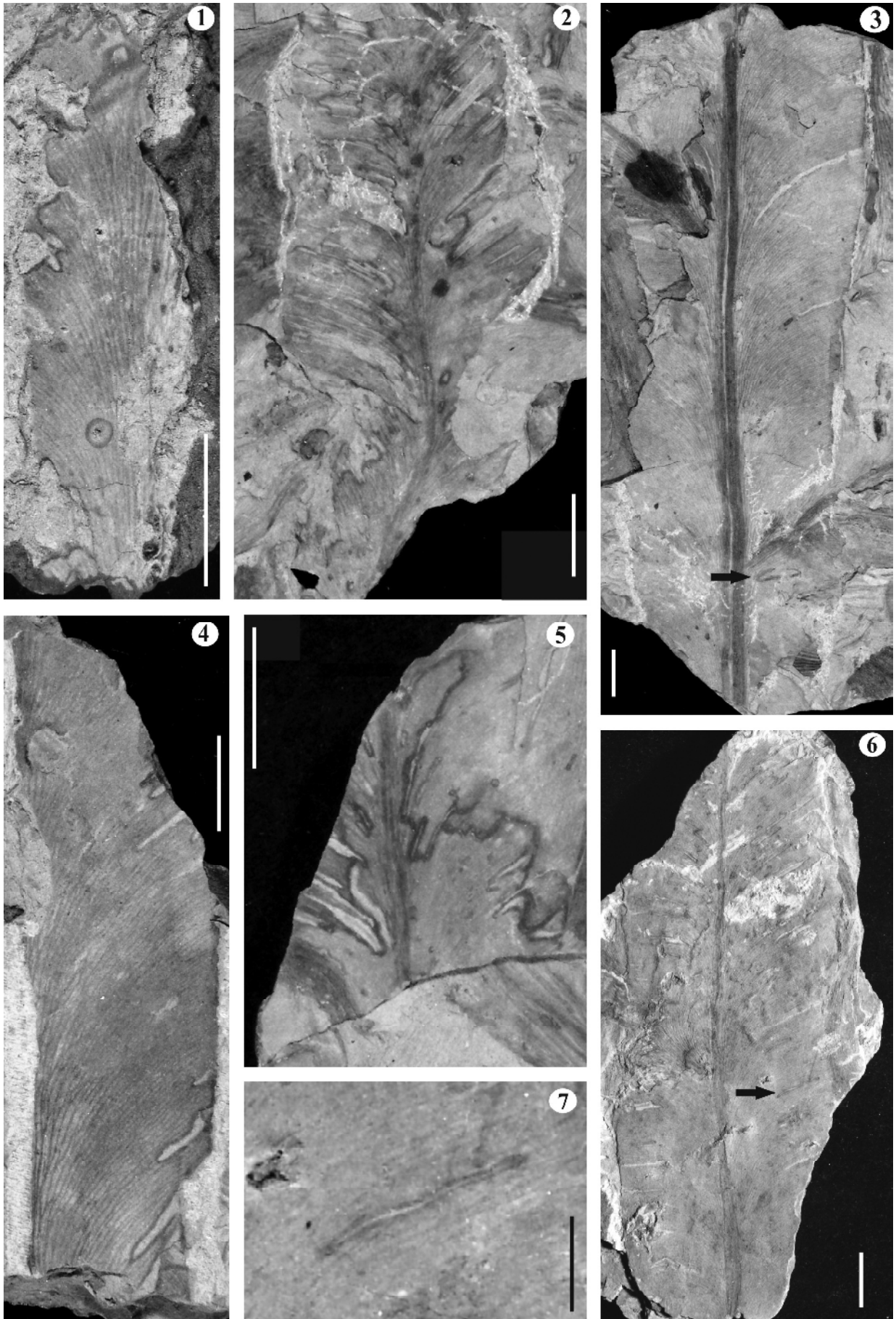


PLATE 1

	Leaf margin feeding	Hole feeding	Trench feeding
Santa Catarina State, Brazil (this paper)	<i>Glossopteris</i> sp. <i>Glossopteris communis</i> <i>Gangamopteris obovata</i>	<i>Glossopteris</i> sp. <i>Glossopteris communis</i>	<i>Glossopteris</i> sp. <i>Glossopteris communis</i> <i>Glossopteris occidentalis</i>
Rio Grande do Sul, Brazil (Adami-Rodrigues <i>et al.</i> , 2004a)	<i>Glossopteris</i> sp. <i>Glossopteris angustifolia</i> <i>Glossopteris brasiliensis</i> <i>Glossopteris</i> cf. <i>communis</i> <i>Cordaites hislopii</i>	<i>Glossopteris</i> sp. <i>Cordaites hislopii</i>	<i>Glossopteris communis</i> <i>Gangamopteris obovata</i> <i>Cordaites hislopii</i>
South Africa (Prevec <i>et al.</i> , 2009)	C2 C2a	C2a	-----
India (Srivastava and Agnihotri, 2011)	<i>Glossopteris communis</i>	<i>Glossopteris communis</i> <i>Glossopteris indica</i>	<i>Glossopteris stenoneura</i>

Fig. 2—Comparison of the feeding traces of the Rio da Estiva outcrop, Santa Catarina State, southern Brazil, with similar records found in the other Permian deposits of Gondwana.

reaction tissue similar to the others previous-mentioned damages.

*Dimensions*—Elongate structures, 2–12 mm in length on the longest axis.

## DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The samples studied from Rio da Estiva outcrop represent the first formal description of insect feeding traces on glossopterid leaves in the Permian deposits from Santa Catarina State (southern Brazil). This record extends the geographical distribution of these damage types to the centre of outcrop on the eastern rim of the Paraná Basin, which was previously restricted to the southern portion of this basin, e.g. localities from the Rio Grande do Sul State (see Fig. 1).

The Rio da Estiva outcrop is exceptional for the good preservation of the leaf impressions. The 10% of herbivory rate found, herein, can be considered high if the small number of available leaves for study (102 specimens in total) is taken into account. Adami-Rodrigues *et al.* (2004a), in a study also carried out in the Lower Permian of the Paraná Basin, obtained a herbivory frequency of only 8% in 352 samples analyzed. On the other hand, Beck and Labandeira (1998) found 31% of leaves with evidences of phytophagy on a total of 1041 leaves studied from Lower Permian deposits of north-central Texas. The rate of herbivory seems to be related to temperature, humidity, herbivore specificity, and also to sample size (Coley & Aide, 1991; Coley & Barone, 1996; Wilf *et al.*, 2005; Adams & Zhang, 2010). This finding indicates that the influence of sampling effort on estimations of herbivory rates in geological records is a topic that deserves more attention and cannot be satisfactorily used to explain the rate obtained in our case.

Amongst the nine morphotypes of foliar damage described for the Permian (Beck & Labandeira, 1998; Adami-

Rodrigues *et al.*, 2004a), only three were found in the Rio da Estiva outcrop, e.g. margin feeding, hole and trench feeding traces of the lamina. The feeding traces found in Rio da Estiva outcrop are comparable to damage types (DT) reported by Prevec *et al.* (2009) and to insects traces observed by Srivastava and Agnihotri (2010) (Fig. 2). The leaf margin feeding traces are similar to DT12 (margin feeding: cusped excisions of leaf edge) and DT15 (margin feeding: trenched into lamina) described in morphotypes C2 and C2a of glossopterid leaves by Prevec *et al.* (2009). These features also are comparable to leaf margin feeding traces recorded in *Glossopteris communis* by Srivastava and Agnihotri (2010). Similarly, the hole feeding traces are comparable to DT03 (hole feeding: polylobate 1 to 5 mm diameter) found in glossopterid leaf morphotype C2a. (Prevec *et al.*, 2009), and to hole feeding traces found by Srivastava and Agnihotri (2010) in *Glossopteris communis* and *Glossopteris indica* Schimper 1874. However, the hole feeding traces from Rio da Estiva present larger diameter ranges (0.5 to 9 mm). The trench feeding traces are similar to those observed in *Glossopteris stenoneura* Feistmantel 1881 (Srivastava & Agnihotri, 2010), but are not comparable to any DTs reported by Prevec *et al.* (2009). The evidences of consumption of foliar tissues indicate that glossopterids hosted basically a functional feeding group of predominantly mandibulate insects in this plant assemblage likely as seen in other assemblages through the Gondwana.

In terms of the feeding traces, the patterns of margin feeding, which are observed here also, are the most extensively documented in terrestrial Palaeozoic compression deposits globally (Labandeira, 2006). We found this kind of damage in leaves classified as *Glossopteris* sp., *Glossopteris communis*, and *Gangamopteris obovata* (Fig. 2). However, this is the first record of margin feeding for the species *Gangamopteris obovata*. Margin foliar damage is attributed to orthopteroid



insects, considering that mainly this group had this feeding habit during the Late Palaeozoic (Guerra-Sommer, 1995; Beck & Labandeira, 1998; Labandeira, 1998). However, Adami-Rodrigues *et al.* (2004a) suggested that primitive members of Coleoptera may also be candidates for the consumption of glossopterid external foliage, as that they have also been found in the Early Permian in the Paraná Basin.

Compared to margin feeding, the hole feeding has only intermittent and occasional records throughout the later Pennsylvanian and Permian (Labandeira & Allen, 2007). In the Rio da Estiva outcrop, ovoid and linear consumptions of the foliar lamina were found in specimens of *Glossopteris* sp. and *Glossopteris communis*. The linear removal has been observed in one specimen of *Glossopteris occidentalis* (Fig. 2). This differs a little bit from the results obtained by Adami-Rodrigues *et al.* (2004a) in the southernmost Paraná Basin, who found ovoid consumption in leaves of *Glossopteris* sp. and *Cordaites hislopilii* (Bunb.) Seward and Leslie 1908, and evidences of linear removal in impressions of *Glossopteris communis* and *Cordaites hislopilii*. However, the absence of damages in specimens of the genus *Cordaites* in Rio da Estiva outcrop is probable because it is not present in this locality. It is possible that these consumption patterns are associated with the activity of unknown primitive insects related to coleopterans (Adami-Rodrigues *et al.*, 2004a), since modern beetles of the families Chrysomelidae and Curculionidae produce morphological patterns of herbivory very similar to those found in the fossil record (Johnson & Lyon, 1993).

Curiously, the three kinds of phytophagy in the Rio da Estiva outcrop have larger dimensions compared to the other records of herbivory in glossopterids registered in Paraná Basin (Adami-Rodrigues *et al.*, 2004a). Differences in leaf area loss are related to temperature, and warmer environments show high rates of leaf area loss (Coley & Aide, 1991; Coley & Barone, 1996). Considering that Rio da Estiva outcrop is a site located further north in comparison with the others previously studied by Adami-Rodrigues *et al.* (2004a), located in the Rio Grande do Sul State (Fig. 1), this difference of herbivory pattern of consumption could be explained by a latitudinal gradient. Many studies indicate that low latitudes provide relative environmental stability, higher thermal energy, higher biodiversity and consequently more intense biotic interactions (Coley & Barone, 1996; Pennings & Silliman, 2005; Dyer *et al.*, 2007), which could be applied to plant-insect interactions.

In reality, a north-south floral gradient was actually recorded between Permian plant associations from the Rio Grande do Sul State and the others situated in northern parts of the basin. Iannuzzi (2010) highlighted this floral difference, indicating which plant taxa were restricted to each of these two areas. However, the author did not furnish a specific explanation for this phytogeographic pattern beyond emphasis the palaeogeographic latitudinal gradient existent. According to Iannuzzi (2010), a not yet determinate ecological factor linked

to this latitudinal gradient (for instance, temperature gradient, rainfall regime, etc.) could be probably responsible for this distinct north-south floral distribution.

Finally, comparing patterns and frequencies of consumption in Rio da Estiva outcrop with the study of Adami-Rodrigues *et al.* (2004a), both made with specimens from Lower Permian of Paraná Basin, it is possible to conclude that herbivory was more intensive in some plant communities than in others. These differences in the herbivory patterns can be explained by already above-mentioned latitudinal gradient, but also either by taphonomic processes, palaeoecological factors or simply because each depositional environment may represent a distinct flora and fauna, which may lead to different patterns of plant-insect interactions. All these topics deserve further investigation in future studies.

Therefore, the need is evident of a larger number of studies that approach insect-plant interactions from a palaeoecological perspective, focusing on understanding the patterns, process, and evolution of palaeocommunities.

**Acknowledgements**—The authors thank Luiz Flávio Lopes (DPE-IG-UFGRS) for the photographs, Ms. Eduardo Premaor for the figures, and Ms. Daiana R. Boardman and Ms. Francine Kurzawe for helpful criticism and suggestions. We also are grateful to Janet Red (native English speaker) for the language corrections. This research received support from the "Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico" of Brazil (CNPq) (grants PQ309322/2007-3, PQ305687/2010-7 and 483463/2007-8) and the "Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul" (FAPERGS) (Project PqG1015846).

## REFERENCES

- Adami-Rodrigues K, Iannuzzi R & Pinto ID 2004a. Permian plant-insect interactions from a Gondwana flora of southern Brazil. *Fossils and Strata* 51: 106-125.
- Adami-Rodrigues K, Souza PA, Iannuzzi R & Pinto ID 2004b. Herbivoria em floras Gonduânicas do Neopaleozóico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa. *Revista Brasileira de Paleontologia* 7: 93-102.
- Adams JM & Zhang Y 2010. Is there more insect folivory in warmer temperate climates? A latitudinal comparison of insect folivory in eastern North America. *Journal of Ecology* 97: 933-940.
- Beck LB & Labandeira CC 1998. Early Permian insect folivory on a giantopterid-dominated riparian flora from north-central Texas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 142: 139-173.
- Bernardes-de-Oliveira MEC 1980. Tafelflora Eogondvânica da Formação Rio Bonito (Camada Irapuá), Bacia do Paraná, Brasil. *Actas 2º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía/Primer Congreso Latinoamericano de Paleontología*, Buenos Aires: 69-88.
- Chaloner WG, Scott AC & Stephenson J 1991. Fossil evidence for plant-arthropod interactions in the Palaeozoic and Mesozoic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 333: 177-186.
- Chauhan DK, Tiwari SP & Misra DR 1985. Animal and plant relationship during Carbo-Permian Period of India. *Bionature* 5: 5-8.
- Coley PD & Aide TM 1991. Comparison of folivory and plant defenses in temperate and tropical broad-leaved forests. *In*: Price PW,

- Lewinsohn GW, Fernandes GW & Benson WW (Editors)—Plant–Animal Interactions: Evolutionary Ecology in Tropical and Temperate Regions: 25-49. Wiley & Sons, New York.
- Coley PD & Barone JA 1996. Folivory and plant defenses in tropical forests. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27: 305-335.
- Dyer LA, Singer MS, Lill JT, Stireman JO, Gentry GL, Marquis RJ, Ricklefs RE, Greeney HF, Wagner DL, Morais DL, Diniz IR, Kursar TA & Coley PD 2007. Host specificity of Lepidoptera in tropical and temperate forests. *Nature* 448: 696-699.
- Guerra-Sommer M 1995. Fitofagia em Glossopterídeas na paleoflora da Mina do Faxinal (Formação Rio Bonito, Artinskiano, Bacia do Paraná). *Pesquisas em Geociências* 22: 58-63.
- Iannuzzi R 2010. The flora of Early Permian coal measures from the Paraná Basin in Brazil: A Review. *International Journal of Coal Geology* 83: 229-247.
- Iannuzzi R & Labandeira CC 2008. The oldest record of external foliage feeding and the expansion of insect folivory on land. *Annals of the Entomological Society of America* 101: 79-94.
- Iannuzzi R & Souza PA 2005. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-date overview. *In: Lucas SG & Zigler KE (Editors)—The Nonmarine Permian: New Mexico Museum of Natural History & Science Bulletin* 30: 144-149. New Mexico Museum of Natural History & Science, Albuquerque.
- Johnson TL & Lyon JE 1993. *Insects on trees and shrubs*. Cornell University Press, Ithaca. 560 p.
- Labandeira CC 1997. Insect mouthparts: ascertaining the paleobiology of insect feeding strategies. *Annual Review of Ecology & Systematics* 28: 153-193.
- Labandeira CC 1998. Early history of Arthropod and vascular associations. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 26: 329-377.
- Labandeira CC 2002. The history of associations between plants and animals. *In: Herrera CM & Pellmyr O (Editors)—Plant–Animal Interactions: an evolutionary approach: 26-74*. Blackwell Science, London.
- Labandeira CC 2006. Silurian to Triassic plant and hexapod clades and their associations: new data, a review, and interpretations. *Arthropod Systematics & Phylogeny* 64: 53-94.
- Labandeira CC & Allen EG 2007. Minimal insect herbivory for the Lower Permian Coprolite Bone Bed site of north-central Texas, USA, and comparison to other Late Palaeozoic floras. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 247: 197-219.
- Labandeira CC & Beal BS 1990. Arthropod terrestriality. *In Mikulic DG (Editor)—Arthropods: Notes for a Short Course: 214-256*. University of Tennessee Press, Knoxville.
- Labandeira CC & Phillips TL 1996. A Carboniferous insect gall: insight into early ecologic history of Holometabola. *Proceedings of the National Academy of Science* 93: 8470-8474.
- Labandeira CC, Phillips TL & Norton RA 1997. Oribatid mites and the decomposition of plant tissues in Palaeozoic coal-swamp forests. *Palaios* 12: 319-353.
- McLoughlin S 2011. New Record of leaf galls and arthropod oviposition scars in Permian-Triassic Gondwanan gymnosperms. *Australian Journal of Botany* 59: 156-169.
- Medeiros RA & Thomaz-Filho A 1973. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Rio Bonito. *Anais 27º Congresso Brasileiro de Geologia, Aracaju: 3-12*.
- Meyer J & Marequille HJ 1983. *Anatomie des galles*. Gebrüder Borntraeger, Berlin: 1-662.
- Pennings SC & Silliman BR 2005. Linking biogeography and community ecology: latitudinal variation in plant–herbivore interaction strength. *Ecology* 86: 2310-2319.
- Popov YA & Wootton R 1977. The Upper Liassic Heteroptera of Mecklenburg and Saxony. *Systematic Entomology* 2: 33-351.
- Prevec R, Labandeira CC, Neveling J, Gastaldo RA, Looy CV & Bamford M 2009. Portrait of a Gondwanan ecosystem: a new Late Permian fossil locality from KwaZulu—Natal, South Africa. *Review of Palaeobotany & Palynology* 156: 454-493.
- Rohn R & Rösler O 2000. Middle to Upper Permian phytostратigraphy of the eastern Paraná Basin. *Revista Universidade Guarulhos* 5: 69–73.
- Rösler O 1975. Tafolórulas eogondwânicas do Brasil II: ocorrência de Rio da Estiva (Permiano—Formação Rio Bonito—Santa Catarina). *Boletim IG—USP* 6: 1-11.
- Rösler O 1978. The Brazilian Eogondwanic floral succession. *Boletim IG—USP* 9: 85-91.
- Scott AC, Chaloner WG & Paterson S 1985. Evidence of pteridophyte–arthropod interactions in the fossil record. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh B* 86: 133-140.
- Scott AC, Stephenson J & Chaloner WG 1992. Interaction and coevolution of plants and arthropods during the Palaeozoic and Mesozoic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 335: 129-165.
- Scott AC & Taylor TN 1983. Plant/animal interactions during the Upper Carboniferous. *Botanical Review* 49: 259-307.
- Srivastava AK 1987. Lower Barakar flora of Raniganj Coalfield and insect/plant relationship. *Palaeobotanist* 36: 139-142.
- Srivastava AK 1996. Plant/animal relationship in Lower Gondwanas of India. *Gondwana nine: 549-555*.
- Srivastava AK & Agnihotri D 2011. Insect traces on Early Permian plants of India. *Paleontological journal* 45: 78-84.
- Srivastava AK & Srivastava R 2010. Insect- Plant dynamics in fossil flora of India. *Alavesia* 3: 3-10.
- Tybusch GP & Iannuzzi R 2008. Reavaliação taxonômica dos gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 11: 73-86.
- Wilf P, Labandeira CC, Johnson KR & Cúneo NR 2005. Richness of plant–insect associations in Eocene Patagonia: a legacy for South American biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 8944-8948.
- Wnuk C 1996. The development of floristic provincialism during the Middle and late Palaeozoic. *Review of Palaeobotany & Palynology* 90: 6-40.

## **Anexo D**

“Specificity of leaf damage in the Permian “*Glossopteris* Flora”: A quantitative approach”. Esther Regina de Souza Pinheiro, Roberto Iannuzzi, Graciela Pereira Tybusch. *Review of Palaeobotany and Palynology* 174 (2012) 113–121.



## Research paper

Specificity of leaf damage in the Permian “*Glossopteris* Flora”: A quantitative approach

Esther Regina de Souza Pinheiro\*, Roberto Iannuzzi, Graciela Pereira Tybusch

Laboratório de Paleobotânica, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, prédio 43127/213, CEP 91540-000, Caixa Postal 15001, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 22 March 2011

Received in revised form 3 January 2012

Accepted 4 January 2012

Available online 15 January 2012

## Keywords:

herbivory  
quantitative analysis  
Early Permian  
Paraná Basin  
Southern Brazil

## ABSTRACT

The main goal of this contribution was to analyze the distribution of types of foliar damage in the different genera of leaves forming the “*Glossopteris* Flora”. We studied material collected in five localities in the southern Paraná Basin, dated as Early Permian (Sakmarian–Artinskian), was studied. Fourteen types of damage caused by insects were identified in leaves of *Glossopteris* sp., *Gangamopteris* sp., and *Cordaites* sp. A MANOVA with permutation tests was used to evaluate the effects of the factors “genera” and “outcrop” in relation to the patterns of herbivory found in leaf impressions/compressions. A total of 850 samples were examined. Only 68 showed evidence of insect–plant interactions and the analyses of variance indicated that the foliar genera differed significantly in herbivory patterns ( $P=0.005$ ). *Glossopteris* sp. and *Cordaites* sp. differed from each other ( $P=0.0013$ ), and *Gangamopteris* sp. differed from *Cordaites* sp. ( $P=0.036$ ). However, *Glossopteris* sp. did not differ from *Gangamopteris* sp. The sites also differed significantly with respect to damage types ( $P=0.001$ ). Thus, one can conclude that apparently there was an association between types of foliar damage and genera of the “*Glossopteris* Flora”; indicating that probably particular groups of Paleozoic insects selected the plants with which they interacted. The influence of the depositional environment (facies and depositional systems) on the preservation of plant–insect interactions, which is a topic deserving further investigation, can be explained either by latitudinal gradient or taphonomic processes, or because each depositional environment may represent a distinct flora and fauna, which lead to different patterns of plant–insect interactions.

© 2012 Elsevier B.V. All rights reserved.

## 1. Introduction

Plant–herbivore food webs comprise at least 40% of global terrestrial biodiversity (Price, 2002). Knowledge of the organization and specialization of plant–herbivore food webs is of considerable relevance for understanding diversity and the processes maintaining it (Novotny et al., 2010). High herbivore diversity can be promoted if plant–herbivore interactions are specialized, because apportioning plant resources will facilitate species coexistence (Lewinsohn and Roslin, 2008). In contrast, generalist herbivores can mediate indirect interactions such as apparent competition (Holt, 1977), linking the dynamics of plant species that might not otherwise interact (Huntly, 1991; Chaneton and Bonsall, 2000). Additionally, measures of herbivore specificity have been widely used to calculate the local and global magnitude of species richness (Novotny et al., 2002b). Herbivore specificity is related to phylogenetic diversity and composition of the host plants (Novotny et al., 2006). Measures of host specificity are highly sensitive to the intensity of sampling. The ratio of specialists to generalists tends to decrease with sample size, as numerous rare, marginally feeding generalists continue to accumulate in samples when all specialists have been recorded (Novotny et al., 2002a).

Modern ecological studies on herbivory have focused for practical reasons on individual leaf taxa or individual herbivore species, which may not be representative of the host–plant specificity patterns within the food web. In paleontology, plant–insect interactions are normally studied with leaf compressions and impressions, since leaves are the most available plant organ in the fossil record. In this study we focused on the plant community, specifically on megaphylls of the “*Glossopteris* Flora”. The Paleozoic fossil evidence of plant–insect interactions includes herbivory, galls, possible mines, and leaf skeletonization (Beck and Labandeira, 1998; Adami-Rodrigues et al., 2004a). To recognize herbivory in the fossil record, it is normally necessary to detect the presence of plant reaction tissues such as calluses or other anomalous tissues induced by trauma while the plant organ was alive (Meyer and Maresquelle, 1983 apud Labandeira, 1998).

Direct evidence of plant–insect associations is relatively rare for the Permian “*Glossopteris* Flora” in Gondwana. Guerra–Sommer (1995) and Adami-Rodrigues et al. (2004a, 2004b) described evidence of phytophagy in glossopterids from the Lower Permian in Brazil. For the Indian Permian, Chauhan et al. (1985), Srivastava (1987), Maheshwari and Bajpai (1990), and Banerji and Bera (1998) reported evidence of plant consumption by arthropods. These studies were all descriptive, and none analyzed herbivore specificity at the community scale or used a quantitative approach. However, Prevec et al. (2009) measure semiquantitatively three elevated types of plant–insect associations on glossopterid and other morphotypes from the South

\* Corresponding author. Tel.: +55 51 3308 7389; fax: +55 51 3308 7302.  
E-mail address: [esther.pinheiro@ufrgs.br](mailto:esther.pinheiro@ufrgs.br) (E.R. de Souza Pinheiro).

African Upper Permian beds. Therefore, our main goal is this study were to: 1), analyze the distribution of foliar damage types in the different genera of leaves forming the “*Glossopteris* Flora”; 2), analyze if damage-bearing genera of leaves forming the “*Glossopteris* Flora” differ in relation to herbivory patterns; and 3), evaluate the importance of depositional site for the occurrence of plant–insect interactions in the fossil record, using for this statistical analyses that are well established in ecological studies, but are still underused in paleobotanical studies.

We focused our analysis on “*Glossopteris* Flora” plant communities, specifically those from the Lower Permian deposits of the Paraná Basin in southern Brazil. The “*Glossopteris* Flora” from the Paraná Basin is mostly characterized by sphenopsid stems (*Paracalamites* sp.) and leaf branches (*Phyllothea* spp., *Sphenophyllum* spp., *Schizoneura* sp.), lycopsid stems (*Brasilodendron* sp., *Lycopodiopsis* sp.), fronds of ferns (*Pecopteris* spp., *Sphenopteris* spp.), glossopterid leaves (*Glossopteris* spp., *Gangamopteris* spp.), cordaitalean leaves (*Cordaites* sp.) and seeds (*Cordaicarpus* spp., *Samaropsis* spp.), among other types of plant remains (Rösler, 1978; Rohn and Rösler, 2000; Iannuzzi and Souza, 2005; Tybusch and Iannuzzi, 2008; Iannuzzi, 2010). This paleoflora represents the flora of middle latitudes, associated with the warm-temperate climates found in the southern hemisphere during the Early Permian.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Geological setting

The specimens studied are preserved as compressions and impressions, and were collected from five localities of the Lower Permian strata from the Paraná Basin, in the states of Rio Grande do Sul (RS) and Santa Catarina (SC), southern Brazil: Morro do Papaléo (levels N3/4, Faxinal section and levels N7/8), Quitéria, Minas do Leão (highway BR 290) and Faxinal Mine, from RS; and Rio da Estiva, from SC (see Table 1 and Fig. 1a).

The localities belong to the Gondwana I Supersequence *sensu* Milani et al. (1998) and correspond to a major transgressive–regressive cycle, in which the lower formations of the Itararé Group represent the Late Paleozoic Gondwana glacial event. The uppermost Itararé Group includes continental and glacio-marine deposits, interbedded with marine, fluvio-deltaic, and lacustrine/lagoonal deposits, representing glacial sedimentation as well as sediments that accumulated during the subsequent deglaciation phases. The Rio Bonito Formation consists of fluvio-deltaic, floodplain, and barrier-lagoonal facies containing carbonaceous shales and shoreline and supratidal facies (Iannuzzi, 2010). A time interval from the Late Sakmarian to Early Artinskian is likely for deposits of the Rio Bonito Formation, Guatá Group, from RS and SC (discussion on ages summarized in Iannuzzi, 2010) (Fig. 1b). For deposits of the Irati and Serra Alta Formations, assigned to the Passa Dois Supergroup, the lithological and sedimentary features of the Minas do Leão locality, suggest deposition in a shallow marine environment near the coastline (Adami-Rodrigues et al., 2004a). Radiometric dating studies indicate a Late Artinskian age for the Irati Formation (Santos et al., 2006) (Fig. 1b).

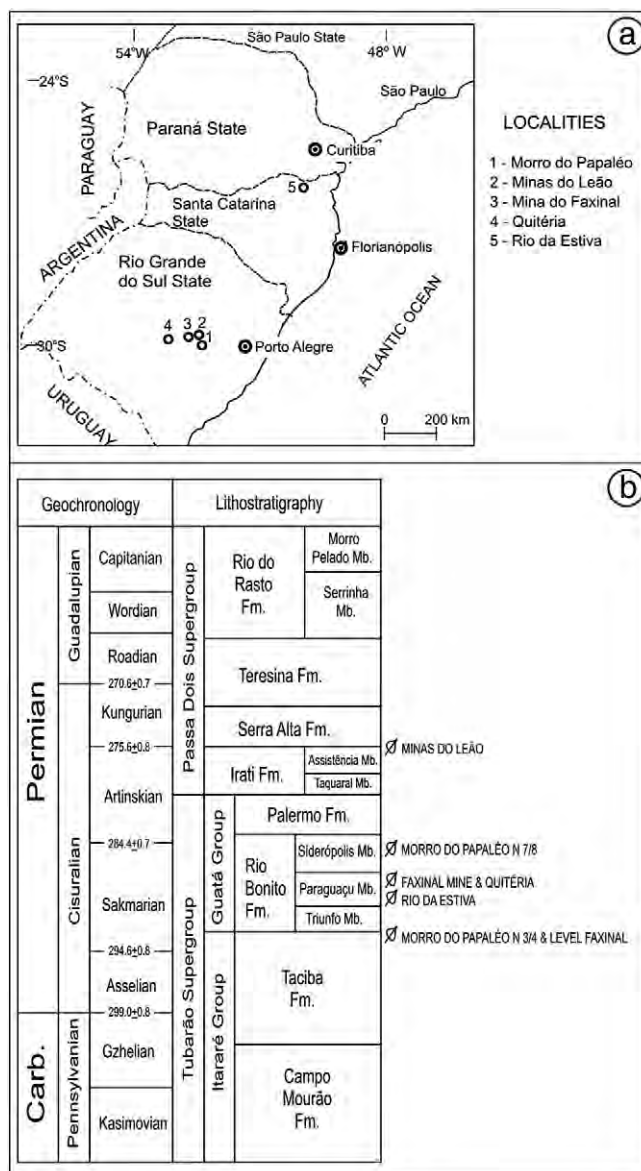


Fig. 1. Location map (a) and geochronological and relative stratigraphic positions (b) of outcrops studied in the Paraná Basin, Brazil (modified from Iannuzzi, 2010).

Stratigraphically, the localities show strata distributed from the uppermost Itararé Group (Taciba Formation) to the Irati / Serra Alta formations (Fig. 1b). The exposures of the Morro do Papaléo locality occur on different sides of a small hill and correspond to three fossiliferous outcrops positioned in different stratigraphic levels, two in the top of the Itararé Group, e.g., levels N3/4 and Faxinal section (Iannuzzi

Table 1

Location, stratigraphic position, and depositional environment of paleobotanical material analyzed from the Paraná Basin, Lower Permian, Brazil.

Outcrop	Locality	Group/formation	Depositional environment
Minas do Leão	Minas do Leão, RS (30°13'S–52°03'W)	Irati/Serra Alta	Shallow marine (Adami-Rodrigues et al., 2004a)
Quitéria	Pantano Grande, RS (30°28'S–52°22'W)	Rio Bonito	Barrier-lagoon (Jasper and Guerra-Sommer, 1999)
Faxinal Mine	Arroio dos Ratos, RS (30°15'S–51°42'W)	Rio Bonito	Alluvial plain (Paim et al., 1983)
Rio da Estiva	Itaiópolis, SC (26°16'S–49°53'W)	Rio Bonito	Delta plain (Rösler, 1975)
Morro do Papaléo (N3/4, N7/8, Faxinal)	Mariana Pimentel, RS (30°21'S–51°34'W)	Itararé (L3/4, Faxinal) Rio Bonito (L7/8)	Lacustrine and fluvial (Iannuzzi et al., 2006)



et al., 2006), and one, levels N7/8, in the upper part of the Rio Bonito Formation, corresponding approximately to the Siderópolis Member, according to Iannuzzi (2010) (Fig. 1b). The Rio da Estiva locality is a roadcut situated along highway BR 116 (Km 139), and has been considered as belonging to the basal portion of the Paraguaçu Member, the lower to middle part of the Rio Bonito Formation (Rösler, 1975) (Fig. 1b). The Faxinal Mine, a section exposed within an open-pit coal mine, and the Quitéria, an exposure located on one side of a small hill, are both situated approximately in the same stratigraphic interval, e.g., the middle to upper part of the Rio Bonito Formation, corresponding to the top of the Paraguaçu Member (Iannuzzi, 2010) (Fig. 1b). Finally, the Minas do Leão locality corresponds to a roadcut along highway BR 290 (Km 90). Its stratigraphic position is not well determined, and because of this it is tentatively attributed to some level situated between the Irati and Serra Alta formations (Adami-Rodrigues et al., 2004a) (Fig. 1b).

## 2.2. Foliar damage

We inspected each slab containing leaf impression/compression of *Glossopteris* spp., *Gangamopteris* spp., and *Cordaites* sp. and other plant organs larger than 1 cm<sup>2</sup> from the above-mentioned localities. The genera *Glossopteris* spp., *Gangamopteris* spp., and *Cordaites* sp. were chosen to represent the “Glossopteris Flora” because the previous studies made by Guerra-Sommer (1995) and Adami-Rodrigues et al. (2004a, 2004b) which reported and described in these taxa evidence of plant–insect association from Paraná Basin. In addition, these three genera are abundant in the fossil record of Paraná Basin and are identified in a relatively simple fashion.

The samples were classified for the presence of damage type (DT) according to the Damage Type Guide of Labandeira et al. (2007). To the data analyses and interpretation of insect-mediated damage we used functional feeding groups (FFG) (Labandeira et al., 2007): a) hole feeding (Hole), b) Slot removal of the foliar lamina (Slot), c) margin feeding (Marg), d) skeletonization (Skel), e) oviposition scars (Ovip), f) surface feeding (Surf), g) possible mines (Mine), and h) galls (Gall). We separated slot removal of the foliar lamina as a FFG because the slot damage type had a very important occurrence in the material previously analyzed by Adami-Rodrigues et al. (2004a, 2004b).

## 2.3. Data analyses

The plant fossils studied are leaves preserved as compressions and/or impressions which can be identified to the genus level. The specimens analyzed that belong to the Morro do Papaléo in part, e.g., the Faxinal section, and the Rio da Estiva localities comprise previously unpublished material. We also reviewed the material published by Adami-Rodrigues et al. (2004a), which in part corresponds to Morro do Papaléo, e.g., levels N3/4 and N7/8, Faxinal Mine, Quitéria, and Minas do Leão. We grouped the localities to do the statistical analyses to obtain sufficiently large sample size.

We carried out a Principal Coordinates Analyses (PCoA) of sampling units in order to detect the principal axes of variation of leaf genera in relation to damage types (variables). We also used MANOVA with permutation tests (Pillar and Orlóci, 1996) to evaluate the effects of the factors “genera” and “outcrop”, in relation to the types of damage found in leaf impressions, described as a presence/absence data matrix. The present absence data allow only a single occurrence of the damage type on a single leaf, although more the one type of damage can be record for each leaf. The sum of squares between groups (Qb statistics) was used as the test criterion. In both analyses, the Sørensen coefficient was used as the similarity index between sample units (Legendre and Legendre, 1998), and was calculated using the software MULTIV 2.63 (Pillar, 2006). Nonglossopterid material or unidentifiable leaf samples were not included in our data analysis.

The samples are housed in the paleontological collections of the Museu de Paleontologia of the Departamento de Paleontologia e Estratigrafia of the Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DPE-IG-UFRGS), under prefix MP-Pb; and of the Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental of the Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (GSA-IG-USP), under prefix 3T.

## 3. Results

In total, 850 specimens of fossil leaves were analyzed. Evidence of insect–plant interactions was present in only 68 of these specimens (8%): 53 impressions/compressions belonged to *Glossopteris* sp., 8 to *Gangamopteris* sp., and 7 to *Cordaites* sp. (Table 2). In relation to localities, 39 are from Morro do Papaléo, 10 from Faxinal Mine, 14 from Rio da Estiva outcrop, 3 from Minas do Leão, and only 2 from the Quitéria locality (Table 2).

Twelve DTs described by Labandeira et al. (2007) were present (Table 2), The possible mine and the possible gall presented by Adami-Rodrigues et al. (2004a) were classified as DTX and DTY respectively. We were unable to classify these two damages according the Damage Type Guide definitions. In relation do FFG, margin feeding (DT12, DT13, DT15) was the most common, found in 38 of the 68 specimens (Table 2 and Plate I, 1, 2, 4, 5). Hole feeding (DT01, DT02, DT03, DT05) was detected in 23 leaves (Table 2 and Plate I, 6, 9, 11). Distinct removal of the foliar lamina resulted in a slot (DT08) which was found in 18 samples leaves (Table 2 and Plate I, 12, 13). Surface feeding (DT103) was present in 3 samples (Table 2 and Plate I, 7, 8), possible mines (DT99, DTX) (Table 2 and Plate I, 3, 9) and skeletonization (DT23) (Table 2) was each found in 2 leaves. Oviposition scars (DT100) and galls (DTY) were each present in only 1 sample (Table 2).

The PCoA ordination showed the association between the leaf genera and the damage types (Fig. 2). The genus *Cordaites* sp. is associated with hole feeding (Fig. 2, group II). *Gangamopteris* sp. is related to margin feeding and slot-like removal of foliar lamina (Fig. 2, groups I and III). *Glossopteris* sp. showed association with hole feeding, margin feeding and slot-like removal of foliar lamina (Fig. 2, groups I, II and III). The others FFGs did not indicate an association with the leaf genera.

The analyses of variance indicated that the foliar genera differed significantly in relation to herbivory patterns ( $P=0.005$ ) (Table 3). *Glossopteris* sp. and *Cordaites* sp. differed from each other ( $P=0.013$ ), and *Gangamopteris* sp. differed from *Cordaites* sp. ( $P=0.036$ ). However, *Glossopteris* sp. did not differ from *Gangamopteris* sp. The outcrops also differed significantly in relation to damage types ( $P=0.001$ ) (Table 3). The outcrops that differed from each other were: Morro do Papaléo–N3/4 to Faxinal Mine ( $P=0.04$ ), Morro do Papaléo–N3/4 to Rio da Estiva ( $P=0.031$ ), Morro do Papaléo–N7/8 to Morro do Papaléo–Faxinal section ( $P=0.001$ ), Morro do Papaléo–N7/8 to Faxinal Mine ( $P=0.002$ ), Morro do Papaléo–N7/8 to Minas do Leão ( $P=0.05$ ), Morro do Papaléo–Faxinal section to Rio da Estiva ( $P=0.007$ ), Faxinal Mine to Rio da Estiva ( $P=0.001$ ), and Rio da Estiva to Minas do Leão ( $P=0.009$ ).

## 4. Discussion and conclusion

The rate of herbivory and the influence of sampling effort on an estimate are topics on which there is no consensus in the literature. The rate of 8% found in this study, in which 850 specimens of fossil leaves were analyzed, is similar to that reported by Adami-Rodrigues et al. (2004a), in a study also carried out in the Lower Permian of the Paraná Basin, obtained on the basis of 352 samples analyzed. On the other hand, Beck and Labandeira (1998) found 31% of leaves with indications of phytophagy, of a total of 1041 leaves studied from Lower Permian deposits of north-central Texas. However the difference of sample size among the present work and that of Beck and Labandeira (1998) does not allow a direct comparison between

**Table 2**  
Leaf samples with evidence of plant–insect interaction in the Lower Permian deposits from the southern Paraná Basin. Abbreviations: Hole = hole feeding; Slot = slot removal of the foliar lamina; Marg = margin feeding; Surf = surface feeding; Skel = skeletonization; Ovip = oviposition scars; Mine = possible mines; and Gall = possible galls.

Code	Species	Outcrop	Damage type	Feeding group
G11	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb4464B)	Papaléo Mine (L3/4)	DT01, DT02	Hole
G12	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb4464D)	Papaléo Mine (L3/4)	DT01, DT12	Hole, marg
G13	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb4500)	Papaléo Mine (L3/4)	DT15	Marg
G14	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb4465)	Papaléo Mine (L3/4)	DT99	Mine
G15	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb4449)	Papaléo Mine (L3/4)	DT01, DT12	Hole, marg
G16	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb4440)	Papaléo Mine (L3/4)	DT15	Marg
G17	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb4495)	Papaléo Mine (L3/4)	DT01, DT02	Hole
G18	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb4696)	Papaléo Mine (L3/4)	DT02	Hole
G19	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb4441)	Papaléo Mine (L3/4)	DT05, DT15	Hole, marg
G110	<i>Glossopteris indica</i> (MP-Pb4448)	Papaléo Mine (L3/4)	DT103	Surf
G111	<i>Glossopteris indica</i> (MP-Pb4437)	Papaléo Mine (L3/4)	DT12	Marg
G112	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb4942)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT02, DT12, DT13	Hole, marg
G113	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb4944A)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT12	Marg
G114	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb4945)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT12	Marg
G115	<i>Glossopteris indica</i> (MP-Pb4947)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT03, DT12	Hole, marg
G116	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb4949A)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT15	Marg
G117	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb4949B)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT08	Slot
G118	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb4950)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT12	Marg
G119	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb3699)	Papaléo Mine (L7/8)	DT08, DT12	Slot, marg
G120	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb3700)	Papaléo Mine (L7/8)	DT08, DT12	Slot, marg
G121	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb3655B)	Papaléo Mine (L7/8)	DT103	Surf
G122	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb3655E)	Papaléo Mine (L7/8)	DT103	Surf
G123	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb3705A)	Papaléo Mine (L7/8)	DT23	Skel
G124	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb3655F)	Papaléo Mine (L7/8)	DT01	Hole
G125	<i>Glossopteris occidentalis</i> (MP-Pb3705B)	Papaléo Mine (L7/8)	DT23	Skel
G126	<i>Glossopteris indica</i> (MP-Pb3702)	Papaléo Mine (L7/8)	DTX	Mine
G127	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb2811)	Faxinal Mine	DT12	Marg
G128	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb2803)	Faxinal Mine	DT12	Marg
G129	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb2810)	Faxinal Mine	DT12	Marg
G130	<i>Glossopteris</i> sp. (MP-Pb2796)	Faxinal Mine	DT02	Hole
G131	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb2796A)	Faxinal Mine	DT08, DT12, DT13	Slot, marg
G132	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb2796B)	Faxinal Mine	DT12	Marg
G133	<i>Glossopteris brasiliensis</i> (MP-Pb3130A)	Faxinal Mine	DT12, DT13	Marg
G134	<i>Glossopteris brasiliensis</i> (MP-Pb3130B)	Faxinal Mine	DT13	Marg
G135	<i>Glossopteris browniana</i> (MP-Pb3124)	Faxinal Mine	DT12	Marg
G136	<i>Glossopteris communis</i> (GP/3T2448)	Rio da Estiva	DT03, DT12	Hole, marg
G137	<i>Glossopteris</i> sp. (GP/3T2443)	Rio da Estiva	DT08, DT12	Slot, marg
G138	<i>Glossopteris communis</i> (GP/3T2447)	Rio da Estiva	DT03, DT08, DT12	Hole, slot, marg
G139	<i>Glossopteris</i> sp. (GP/3T2441A)	Rio da Estiva	DT02, DT08, DT15	Hole, slot, marg
G140	<i>Glossopteris</i> sp. (GP/3T2441B)	Rio da Estiva	DT01, DT08	Hole, slot
G141	<i>Glossopteris</i> sp. (GP/3T2441C)	Rio da Estiva	DT03, DT08	Hole, slot
G142	<i>Glossopteris</i> sp. (GP/3T2441D)	Rio da Estiva	DT01, DT08	Hole, slot
G143	<i>Glossopteris communis</i> (GP/3T2445)	Rio da Estiva	DT03, DT05	Hole
G144	<i>Glossopteris occidentalis</i> (GP/3T2442)	Rio da Estiva	DT08	Slot
G145	<i>Glossopteris communis</i> (GP/3T2439A)	Rio da Estiva	DT08	Slot
G146	<i>Glossopteris communis</i> (GP/3T2449)	Rio da Estiva	DT12	Marg
G147	<i>Glossopteris communis</i> (GP/3T2439B)	Rio da Estiva	DT08	Slot
G148	<i>Glossopteris communis</i> (GP/3T2446)	Rio da Estiva	DT08	Slot
G149	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb2863)	Quitéria	DT08, DT12	Slot marg
G150	<i>Glossopteris communis</i> (MP-Pb3138)	Quitéria	DT12	Marg
G151	<i>Glossopteris angustifolia</i> (MP-Pb2238)	Minas do Leão	DT12, DT13	Marg
G152	<i>Glossopteris angustifolia</i> (MP-Pb2223)	Minas do Leão	DT12	Marg
G153	<i>Glossopteris angustifolia</i> (MP-Pb2241)	Minas do Leão	DT13	Marg
Ga1	<i>Gangamopteris buriadica</i> (MP-Pb4470)	Papaléo Mine (L3/4)	DT08	Slot
Ga2	<i>Gangamopteris</i> sp. (MP-Pb4439B)	Papaléo Mine (L3/4)	DT12	Marg
Ga3	<i>Gangamopteris obovata</i> (MP-Pb4946)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT12	Marg
Ga4	<i>Gangamopteris obovata</i> (MP-Pb4948)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT13	Marg
Ga5	<i>Gangamopteris obovata</i> (MP-Pb4955A)	Papaléo Mine (Faxinal)	DT12	Marg
Ga6	<i>Gangamopteris obovata</i> (MP-Pb3704)	Papaléo Mine (L7/8)	DT08, DTY	Slot Gall
Ga7	<i>Gangamopteris obovata</i> (MP-Pb3703)	Papaléo Mine (L7/8)	DT08, DT100	Slot Ovip
Ga8	<i>Gangamopteris obovata</i> (GP/3T2450)	Rio da Estiva	DT12	Marg
Co1	<i>Cordaites hislopilii</i> (MP-Pb3668)	Papaléo Mine (L7/8)	DT05	Hole
Co2	<i>Cordaites hislopilii</i> (MP-Pb3678B)	Papaléo Mine (L7/8)	DT03	Hole
Co3	<i>Cordaites hislopilii</i> (MP-Pb3655A)	Papaléo Mine (L7/8)	DT05	Hole
Co4	<i>Cordaites hislopilii</i> (MP-Pb3655C)	Papaléo Mine (L7/8)	DT05	Hole
Co5	<i>Cordaites hislopilii</i> (MP-Pb3655D)	Papaléo Mine (L7/8)	DT05	Hole
Co6	<i>Cordaites hislopilii</i> (MP-Pb4918)	Papaléo Mine (L7/8)	DT01, DT02	Hole
Co7	<i>Cordaites hislopilii</i> (MP-Pb2796C)	Faxinal Mine	DT12	Marg

sites. Another reason for the low rate of herbivory is that our sample represents several habitats, ages and lithofacies, while Beck and Labandeira (1998) analyzed a large sample from a single locality.

Many studies report a decrease in herbivory rate with increasing plant diversity (Massey et al., 2006; Jactel and Brockerhoff, 2007; Sobek et al., 2009). In more-diversified plant communities, fewer



specialist herbivores are found, generally resulting in lower rates of plant damage (Root, 1973). In paleobotany the sampling effort is important for the estimation of the richness and diversity of fossil plants. Therefore, it seems to be important in studies of herbivory take into account both, the range of taxonomic groups analyzed and the total number of fossil leaf samples.

Of the three genera analyzed, *Glossopteris* sp. was the most abundant. Of the 850 leaf specimens studied, 704 belonged to *Glossopteris* sp., 100 to *Cordaites* sp., and only 46 to *Gangamopteris* sp. Similarly, *Glossopteris* sp. was the leaf genus with the most direct evidence of consumption, showing 12 of the 14 damage types found. We can explain this in four ways: 1), *Glossopteris* sp. was a dominant component in Gondwana forests, and because of this exhibits the most leaves with evidence of plant–insect interactions. There are theories suggesting that more common species have an increased susceptibility to herbivory (Givnish, 1999); 2), *Glossopteris* leaves were more palatable than leaves of the *Gangamopteris*-type, and *Cordaites*-type, and because of this were more consumed; 3), leaf-bearing plants of *Glossopteris* interacted with more insect taxa; actually, there are studies suggesting that cuticles of *Glossopteris* spp. have more papillae and trichomes (Fittipaldi and Rösler, 1985; Guerra-Sommer, 1992), which could be related to a defense mechanism against herbivores (Guerra-Sommer, 1992, 1995); 4), specimens of *Glossopteris* sp. are more abundant as a consequence of a fossilization process that favored their preservation (= taphonomic bias).

In the Brazilian localities we don't found as much DTs as the South Africa locality described by Prevec et al. (2009). In Brazilian Permian sites we found 14 DTs, in comparison Prevec et al. (2009) reported 22 DTs in the South African sites. However, the difference of sample size should be taken into account. We worked with 850 samples of leaves, whereas Prevec et al. (2009) studied 9772 plant specimens (leaves, stems, seeds, among others). Of the 14 DTs found, 7 are in common with South Africa locality: DT01, DT02, DT03, DT12, DT13, DT15, DT103 (Table 4). It is important to note that DT01, and DT12 were reported by Prevec et al. (2009) not only in glossopterid leaves as well as in other plant organs such as sphenophyte roots (DT 01, DT 12) and lycopod axis (DT12). Another difference involved glossopterid morphotypes. We found the DT in leaves of *Glossopteris* spp., and *Gangamopteris* spp., whereas Prevec et al. (2009) described morphotypes of glossopterids associated to *Lidgettonia* spp. and also *Glossopteris* spp.

Among the eight FFGs found, margin feeding was the most frequent. This was expected, as margin feeding is the most pervasive type of plant–insect interaction that is most extensively documented in terrestrial Paleozoic compression deposits (Labandeira, 2006a). Margin consumption is normally attributed to protorthopteroid insects (for classification of the group see Grimaldi and Engel, 2005), considering that this group was external foliage feeding during the Late Paleozoic (Guerra-Sommer, 1995; Beck and Labandeira, 1998; Labandeira, 1998). However, Adami-Rodrigues et al. (2004a) suggested that primitive members of Coleoptera may also be candidates for the consumption of glossopterid external foliage, since this group is found in the Early Permian in the Paraná Basin.

Compared to margin feeding, hole and slot feeding has only intermittent and occasional records throughout the later Pennsylvanian and Permian (Labandeira and Allen, 2007). These two morphotypes of foliar lamina consumption are associated with the activity of unknown primitive insects related to coleopterans (Adami-Rodrigues et al., 2004a), since modern beetles of the families Chrysomelidae and Curculionidae produce morphological patterns of herbivory very similar to those found in the fossil record (Johnson and Lyon, 1991). However, the earliest fossil occurrence of the families Chrysomelidae and Curculionidae are in the Middle Jurassic of Eurasia (Zherikhin and Gratshev, 1993; Santiago-Blay, 1994). Therefore, it seems to be more

likely that protorthopteroid or a closely related mandibulate group was responsible for the pattern of consumptions.

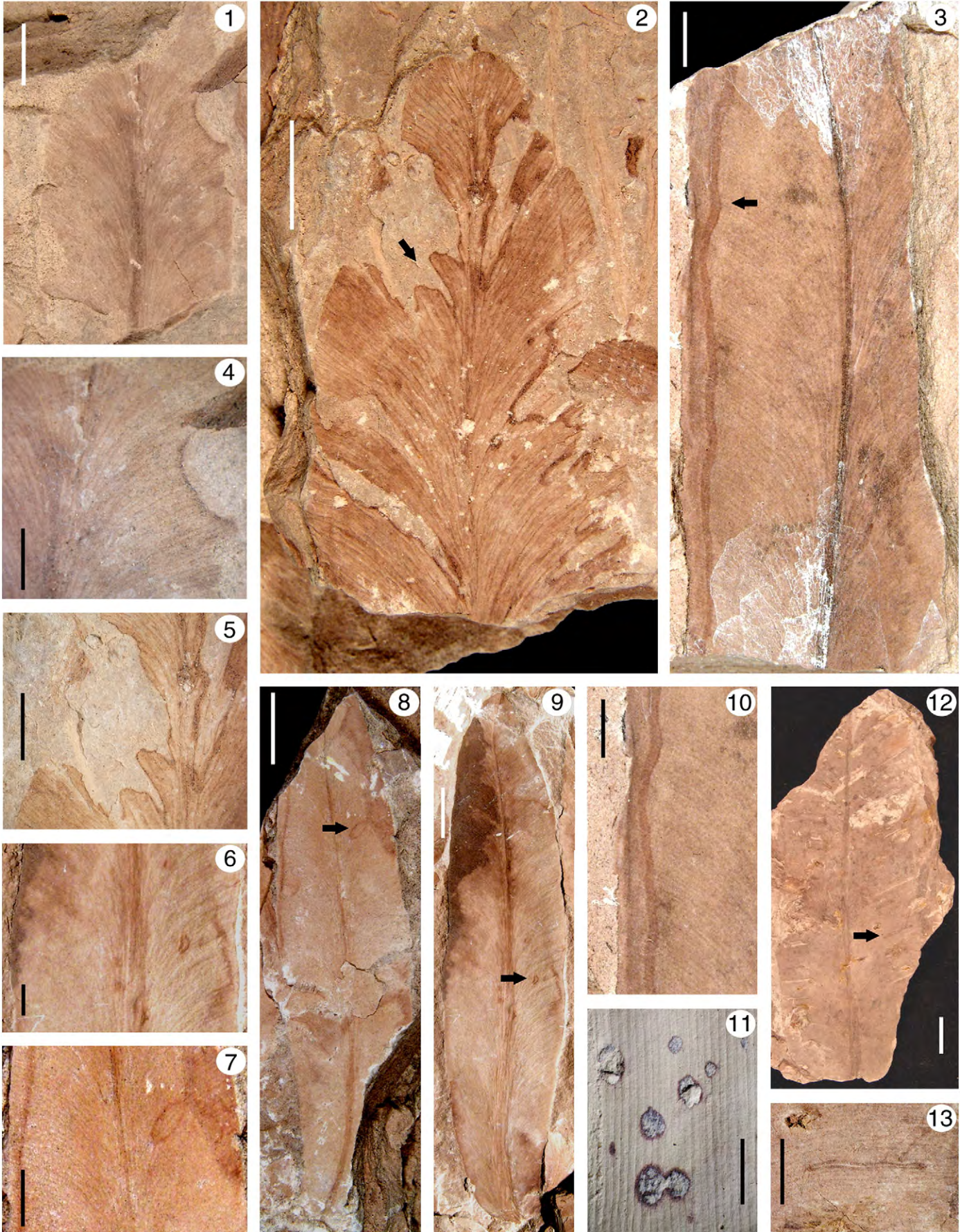
The other five FFGs studied are less frequent in the Permian fossil record. Adami-Rodrigues et al. (2004a) indicated orthopteroids were a trace maker of skeletonization in glossopterid leaves, since this insect group is present in the Paraná Basin. Otherwise, skeletonization was interpreted as a result of detritivorous activity on dead leaves, which in the Paraná Basin could have been represented by blattoids dwelling near areas of deposition. On the other hand, the possible mines analyzed are associated with coleopteran larvae, according to Adami-Rodrigues et al. (2004a), because modern mines are generally attributed to larvae of Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, and Lepidoptera (Connor and Taverner, 1997). However, only Coleoptera has been recorded in the Permian (Labandeira, 2006a, 2006b). Oviposition may be related to protodonatan dragonflies, a group found in Paleozoic deposits of the Paraná Basin (Adami-Rodrigues et al., 2004a), but also several other Early to Middle Permian lineages such as certain paleodictyopteroids, orthopterans, blattodeans, hemipteroids, and basal holometabolans (Carpenter, 1969; Labandeira, 2006a). Modern galls are produced by a range of organisms including insects, mites, nematodes, bacteria, viruses, and fungi (Shorthouse and Rohfritsch, 1992). The group responsible for producing galls in the Paleozoic is very difficult to recognize, since a single parasite may induce galls of multiple forms depending on the host species. Despite this, Labandeira (2005) indicated that Acari and Hemipteroidea were the possible groups responsible for the galls in the Paleozoic.

The differences in damage recorded among the leaves analyzed might be the result of differences in the palatability of each plant species and/or the feeding preferences of dominant generalist herbivores (White and Whitham, 2000). The differences in palatability may be associated with plant age. Many herbivores prefer young leaves (Basset, 1991; Aide, 1993). In addition, some herbivores are specialists on long-lived plants with fibrous tissue (Rowell, 1978; Rowell et al., 1983; Beck and Labandeira, 1998). Young leaves are softer and have a higher nutrient (especially nitrogen) content compared to mature leaves (Coley, 1983). Plant-defense theories predict that longer-lived leaves should be better defended than short-lived leaves, and thus, mature leaves should have traits that make them less palatable to insect herbivores (Grime, 1977; Coley et al., 1985). Furthermore, Barone (1998) noted that species of caterpillars in early instars feed on younger leaves, while final instars feed on more mature leaves. This implies that early-instar caterpillars cannot muster enough purchase to chew the tough mature leaves (Bernays and Janzen, 1988).

Phylogenetic relationship is also an important aspect in differences in herbivory patterns between the leaf genera *Glossopteris* and *Cordaites*, as well as *Gangamopteris* and *Cordaites*. Barone (1998) suggested that most species of chewing herbivores are limited to feeding on a few closely related species of host plants. This conclusion explains the common presence of similar herbivory patterns between *Glossopteris*-type and *Gangamopteris*-type leaves, since they belong to the same taxonomic group, the Glossopteridales, while *Cordaites*-type leaves have affinities to another group of gymnosperms, the Cordaitales, manifested by significant differences in herbivory levels.

The difference of herbivory patterns between the Rio da Estiva outcrop and the outcrops from the Morro do Papaléo, Faxinal Mine, and Minas do Leão, may be explained by a latitudinal gradient. In relation to the other sites studied, Rio da Estiva is the outcrop located farthest north in the Paraná Basin (Santa Catarina State). Many studies indicate that low latitudes provide relative environmental stability, higher thermal energy, higher biodiversity, and consequently more intense biotic interaction (Coley and Barone, 1996; Pennings and Silliman, 2005; Dyer et al., 2007). This seems to apply to plant–insect interactions. The rate of leaf-area loss to herbivory is greater in warmer than in cooler environments (Coley and Aide, 1991; Coley and Barone, 1996). Curano et al. (2010) observed that damage diversity was strongly









**Table 4**  
Comparison of damage type of the southern Paraná Basin (Brazil), with similar records found in KwaZulu-Natal, South Africa.

Damage types	Brazil (This paper)	South Africa (Prevec et al., 2009)
DT01 hole feeding: circular (<1 mm diameter)	<i>Glossopteris communis</i> <i>Cordaites hislopii</i> <i>Glossopteris</i> sp.	C1b Sphenophyte roots Unidentifiable axis
DT02 Hole feeding: circular (1 to 5 mm diameter)	<i>Glossopteris communis</i> <i>Glossopteris</i> sp. <i>Cordaites hislopii</i>	C6a C6b Unidentifiable <i>Glossopteris</i>
DT03 Hole feeding: polylobate (1 to 5 mm diameter)	<i>Glossopteris communis</i> <i>Glossopteris indica</i> <i>Glossopteris</i> sp. <i>Cordaites hislopii</i>	C2 C2a Scale leaves
DT12 Margin feeding: <180° of arc	<i>Glossopteris angustifolia</i> <i>Glossopteris communis</i> <i>Glossopteris brasiliensis</i> <i>Glossopteris browniana</i> <i>Glossopteris indica</i> <i>Glossopteris</i> sp. <i>Gangamopteris obovata</i> <i>Gangamopteris</i> sp. <i>Cordaites hislopii</i>	C1 C2 C2a C2b C3 C6 C6a Unidentifiable <i>Glossopteris</i> Sphenophyte roots Lycopod axis
DT13 margin feeding: leaf apex	<i>Glossopteris angustifolia</i> <i>Glossopteris brasiliensis</i> <i>Glossopteris communis</i> <i>Glossopteris</i> sp. <i>Gangamopteris obovata</i>	C2 Unidentifiable <i>Glossopteris</i>
DT15 Margin feeding: trenched into lamina	<i>Glossopteris communis</i> <i>Glossopteris</i> sp.	C2 C2a
DT103 surface feeding: elongate window	<i>Glossopteris communis</i> <i>Glossopteris indica</i>	Unidentifiable <i>Glossopteris</i>

## References

Adami-Rodrigues, K., Iannuzzi, R., Pinto, I.D., 2004a. Permian plant–insect interactions from a Gondwana flora of southern Brazil. *Fossils and Strata* 51, 106–125.

Adami-Rodrigues, K., Souza, P.A., Iannuzzi, R., Pinto, I.D., 2004b. Herbivoria em floras Gondwânicas do Neopaleozóico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa. *Revista Brasileira de Paleontologia* 7, 93–102.

Adams, J.M., Zhang, Y., 2010. Is there more insect folivory in warmer temperate climates? A latitudinal comparison of insect folivory in eastern North America. *Journal of Ecology* 97, 933–940.

Aide, T.M., 1993. Patterns of leaf development and herbivory in a tropical understory community. *Ecology* 74, 455–466.

Banerji, M., Bera, S., 1998. Record of zoocercidia on leaves of *Glossopteris browniana* Brongn. from Mahuda Basin, Upper Permian, Indian Lower Gondwana. *Indian Biological* 30, 58–61.

Barone, J.A., 1998. Host-specificity of folivorous insects in a moist tropical forest. *Journal of Animal Ecology* 67, 400–409.

Basset, Y., 1991. Spatial distribution of herbivory mines and galls within an Australian rain forest tree. *Biotropica* 23, 271–281.

Beck, L.B., Labandeira, C.C., 1998. Early Permian insect folivory on a giantopterid-dominated riparian flora from north-central Texas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 142, 139–173.

Bernays, E.A., Janzen, D.H., 1988. Saturniid and sphingid caterpillars: two ways to eat leaves. *Ecology* 69, 1153–1160.

Carpenter, F.M., 1969. Adaptations among Paleozoic insects. In: Yochelson, E.L. (Ed.), *Proceedings of the First North American Paleontological Convention*. Allen Press, Lawrence, KS, USA, pp. 1236–1251.

Chaneton, E.J., Bonsall, M.B., 2000. Enemy-mediated apparent competition: empirical patterns and the evidence. *Oikos* 88, 380–394.

Chauhan, D.K., Tiwari, S.P., Misra, D.R., 1985. Animal and plant relationship during Carbo-Permian Period of India. *Bionature* 5, 5–8.

Coley, P.D., 1983. Herbivory and defensive characteristics of three species in a lowland tropical forest. *Ecological Monographs* 53, 209–233.

Coley, P.D., Aide, T.M., 1991. Comparison of folivory and plant defenses in temperate and tropical broad-leaved forests. In: Price, P.W., Lewinsohn, G.W., Fernandes Benson, W.W. (Eds.), *Plant–Animal Interactions: Evolutionary Ecology in Tropical and Temperate Regions*. Wiley & Sons, New York, pp. 25–49.

Coley, P.D., Barone, J.A., 1996. Folivory and plant defenses in tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 27, 305–335.

Coley, P.D., Bryant, J.P., Chapin, F.S.M., 1985. Resource availability and plant antiherbivore defense. *Science* 230, 895–899.

Connor, E.F., Taverner, M.P., 1997. The evolution and adaptive significance of the leaf-mining habit. *Oikos* 79, 6–25.

Curano, E.D., Labandeira, C.C., Wilf, P., 2010. Fossil insect tracks paleotemperature for six million years. *Ecological Monographs* 80, 547–567.

Dyer, L.A., Singer, M.S., Lill, J.T., Stireman, J.O., Gentry, G.L., Marquis, R.J., Ricklefs, R.E., Greeney, H.F., Wagner, D.L., Morais, D.L., Diniz, I.R., Kursar, T.A., Coley, P.D., 2007. Host specificity of Lepidoptera in tropical and temperate forests. *Nature* 448, 696–699.

Erwin, T.L., 1982. Tropical forests: their richness in Coleoptera and other arthropod species. *The Coleopterists Bulletin* 36, 74–75.

Fittipaldi, F.C., Rösler, O., 1985. A cutícula de *Glossopteris communis* da Formação Rio Bonito no Estado do Paraná. *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos: Série Geologia* 27, 579–595.

Givnish, T.J., 1999. On the causes of gradients in tropical tree diversity. *Journal of Ecology* 87, 193–210.

Grimaldi, D., Engel, M.S., 2005. *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press, New York.

Grime, J.P., 1977. Evidence for the existence of tree primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* 111, 1169–1194.

Guerra-Sommer, M., 1992. Padrões Epidérmicos de Glossopterídeos da Taoflora do Faxinal (Formação Rio Bonito - Artinskiano - Kunguriano, Bacia do Paraná, Brasil). *Pesquisas em Geociências* 19, 26–40.

Guerra-Sommer, M., 1995. Fitofagia em Glossopterídeos na paleoflora da Mina do Faxinal (Formação Rio Bonito, Artinskiano, Bacia do Paraná). *Pesquisas em Geociências* 22, 58–63.

Holt, R.D., 1977. Predation, apparent competition and the structure of prey communities. *Theoretical Population Biology* 12, 197–229.

Huntly, N., 1991. Herbivores and the dynamics of communities and ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 22, 477–503.

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

Iannuzzi, R., Souza, P.A., 2005. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-date overview. In: Lucas, S.G., Zigler, K.E. (Eds.), *The Nonmarine Permian: New Mexico Museum of Natural History & Science Bulletin* 30. New Mexico Museum of Natural History & Science, Albuquerque, pp. 144–149.

Iannuzzi, R., Scherer, C.M.S., Souza, P.A., Holz, M., Caravaca, G., Adami-Rodrigues, K., Tybusch, G.P., Souza, J.M., Smaniotto, L.P., Fischer, T.V., Silveira, A.S., Lykawka, R., Boardman, D.R., Barboza, E.G., 2006. Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS - Registro ímpar da sucessão sedimentar e florística pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná. In: Winge, M., Schobbenhaus, C., Berbert-Born, M., Queiroz, E.T., Campos, D.A., Souza, C.R.G., Fernandes, A.C.S. (Eds.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil* <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio101/sitio101.pdf>.

Jactel, H., Brockerhoff, E.G., 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters* 10, 835–848.

Jasper, A., Guerra-Sommer, M., 1999. Licófitas arbóreas em *in situ* como elementos importantes na definição de modelos deposicionais (Formação Rio Bonito-Bacia do Paraná-Brasil). *Pesquisas em Geociências* 26, 49–58.

Johnson, T.L., Lyon, J.E., 1991. *Insects on Trees and Shrubs*. Cornell University Press, Ithaca.

Labandeira, C.C., 1998. Early history of Arthropod and vascular associations. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 26, 329–377.

Labandeira, C.C., 2005. The fossil record of insect extinction: new approaches and future directions. *American Entomologist* 51, 14–29.

Labandeira, C.C., 2006a. Silurian to Triassic plant and hexapod clades and their associations: new data, a review, and interpretations. *Arthropod Systematics & Phylogeny* 64, 53–94.

Labandeira, C.C., 2006b. The four phases of plant–arthropod associations in deep time. *Geologica Acta* 4, 409–438.

Labandeira, C.C., Allen, E.G., 2007. Minimal insect herbivory for the Lower Permian Coprolite Bone Bed site of north-central Texas, USA, and comparison to other Late Paleozoic floras. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 247, 197–219.

Labandeira, C.C., Wilf, P., Johnson, K.R., Marsh, F., 2007. Guide to insect (and other) damage types on compressed plant fossils (version 3.0 – Spring 2007). Smithsonian Institution, Washington.

Legendre, P., Legendre, L., 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam.

Leuschner, C., Jungkunst, H.F., Fleck, S., 2009. Functional role of forest diversity: pros and cons of synthetic stands and across-site comparisons in established forests. *Basic and Applied Ecology* 10, 1–9.

Lewinsohn, T.M., Roslin, T., 2008. Four ways towards tropical herbivore megadiversity. *Ecology Letters* 11, 398–416.

Maheshwari, H.K., Bajpai, U., 1990. Trace fossils from Permian Gondwana of Rajmahal hills. *Geophytology* 20, 45–47.

Massey, F.P., Massey, K., Press, M.C., Hartley, S.E., 2006. Neighborhood composition determines growth, architecture and herbivory in tropical rain forest tree seedlings. *Journal of Ecology* 94, 646–655.

Meyer, J., Maresquelle, H.J., 1983. *Anatomie des Galles*. Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Milani, E.J., Faccini, U.F., Scherer, C.M.S., Araújo, L.M., Cupertino, J.A., 1998. Sequences and stratigraphy hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), southern Brazil. *Boletim IG-USP* 29, pp. 125–173.

Novotny, V., Basset, Y., Miller, S.E., Drozd, P., Cizek, L., 2002a. Host specialization of leaf chewing insects in a New Guinea rainforest. *Journal of Animal Ecology* 71, 400–412.

Novotny, V., Basset, Y., Miller, S.E., Weiblen, G.D., Bremer, B., Cizek, L., Drozd, P., 2002b. Low host specificity of herbivorous insects in a tropical forest. *Nature* 416, 841–844.

- Novotny, V., Drozd, P., Miller, S.E., Kulfan, M., Janda, M., Basset, Y., Weiblen, G.D., 2006. Why are there so many species of herbivorous insects in tropical rainforests? *Science* 313, 1115–1118.
- Novotny, V.N., Miller, S.E., Baje, L., Balagawi, S., Basset, Y., Cizek, L., Craft, K.J., Dem, F., Drew, R.A.I., Huler, J., Leps, J., Lewis, O.T., Pokon, R., Stewart, A.J., Samuelson, J.A., Weiblen, G.D., 2010. Guild-specific patterns of species richness and host specialization in plant–herbivore food webs from tropical forest. *Journal of Animal Ecology* 79, 1193–1203.
- Paim, P.S.G., Piccoli, A.E.M., Sartur, J.A.D., Munaro, P., Holz, M., Granitoff, W., 1983. Evolução paleogeográfica do Super Grupo Tubarão na área de Mariana Pimentel-Faxinal, Guaíba, RS. Atas I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, pp. 140–159.
- Pennings, S.C., Silliman, B.R., 2005. Linking biogeography and community ecology: latitudinal variation in plant–herbivore interaction strength. *Ecology* 86, 2310–2319.
- Pillar, V.D., 2006. MULTIV—Multivariate Exploratory Analysis, Randomization Testing and Bootstrap Resampling; User's Guide v. 2.4. Departamento de Ecologia, UFRGS, Porto Alegre <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>.
- Pillar, V.D., Orióci, L., 1996. On randomization testing in vegetation science: multifactor comparisons of relevé groups. *Journal of Vegetation Science* 7, 585–592.
- Poorter, L., de Plassche, M.V., Willems, S., Boot, R.G.A., 2004. Leaf traits and herbivory rates of tropical tree species differing in successional status. *Plant Biology* 6, 746–754.
- Prevec, R., Labandeira, C.C., Neveling, J., Gastaldo, R.A., Looy, C.V., Bamford, M., 2009. Portrait of a Gondwanan ecosystem: a new Late Permian fossil locality from Kwa-Zulu-Natal, South Africa. *Review of Palaeobotany and Palynology* 156, 454–493.
- Price, P.W., 2002. Resource-driven terrestrial interaction webs. *Ecological Research* 17, 241–247.
- Rohn, R., Rösler, O., 2000. Middle to Upper Permian phytostratigraphy of the eastern Paraná Basin. *Revista Universidade Guarulhos* 5, 69–73.
- Root, R.B., 1973. Organization of a plant–arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43, 95–124.
- Rösler, O., 1975. Taoflórlulas eogondwânicas do Brasil II: ocorrência de Rio da Estiva (Permiano – Formação Rio Bonito–Santa Catarina). *Boletim IG–USP* 6, pp. 1–11.
- Rösler, O., 1978. The Brazilian Eogondwanic floral succession. *Boletim IG–USP* 9, pp. 85–91.
- Rowell, C.H.F., 1978. Food–plant specificity in Neotropical rain-forest acridids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 24, 651–662.
- Rowell, C.H.F., Rowell-Rahier, M., Braker, H.E., Cooper-Driver, G., Gómez, L.D., 1983. The palatability of ferns and ecology of two tropical forest grasshoppers. *Biotropica* 15, 207–216.
- Santiago-Blay, J.A., 1994. Paleontology of leaf beetles. In: Jolivet, P.H., Cox, M.L., Petitpierre, E. (Eds.), *Novel aspects of the biology of Chrysomelidae*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 1–68.
- Santos, R.V., Souza, P.A., Alvarenga, C.J.S., Dantas, E.L., Pimentel, M.M., Oliveira, C.G., Araújo, L.M., 2006. SHRIMP U–Pb zircon dating and palynology of bentonitic layers from the Permian Irati Formation, Paraná Basin, Brazil. *Gondwana Research* 9, 456–463.
- Shorthouse, J.D., Rohfritsch, O., 1992. *Biology of Insect-induced Galls*. Oxford University Press, New York.
- Sobek, S., Scherber, C., Steffan-Dewenter, I., Tschamntke, T., 2009. Sapling herbivory, invertebrate herbivores and predators across a natural tree diversity gradient in Germany's largest connected deciduous forest. *Oecologia* 160, 279–288.
- Srivastava, A.K., 1987. Lower Barakar flora of Raniganj Coalfield and insect/plant relationship. *The Palaeobotanist* 36, 139–142.
- Tybusch, G.P., Iannuzzi, R., 2008. Taxonomic reevaluation of the genera *Gangamopteris* and *Rubidgea*, Lower Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 11, 73–86.
- Vehviläinen, H., Koricheva, J., Ruohomaki, K., 2007. Tree species diversity influences herbivore abundance and damage: meta-analysis of long-term forest experiments. *Oecologia* 152, 287–298.
- White, J.A., Whitham, T.G., 2000. Associational susceptibility of cottonwood to a box elder herbivore. *Ecology* 81, 1795–1803.
- Zherikhin, V.V., Gratshev, V.G., 1993. Obrieniidae fam. nov. the oldest Mesozoic weevils (Coleoptera, Curculionidae). *Paleontological Journal* 27, 50–69.

## **Anexo E**

Cartas de submissão dos manuscritos



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

São Paulo, 20 de novembro de 2013

Ilma. Senhora  
Graciela Pereira Tybusch  
Departamento de Paleontologia e Estratigrafia  
Instituto de Geociências/UFRGS  
Cx. Postal 15.001  
CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

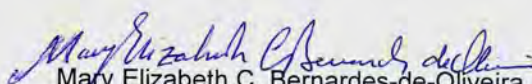
Assunto: manuscrito submetido para publicação

Prezada Senhora,

Na qualidade de editora do volume temático da Revista Geologia USP, sobre o **SECOND INDO-BRAZILIAN SYMPOSIUM ON GLIMPSES OF GONDWANA RESEARCH**, acusamos o recebimento do manuscrito submetido para publicação no referido volume, sob o título: *Reevaluation of the Glossopterids from Cambaí Grande outcrop, RS (Lower Permian of Paraná Basin)*, cujos autores são: **Graciela Pereira Tybusch, Roberto Iannuzzi, Mary Elizabeth Cerruti Bernardes-de-Oliveira, Ricardo da Cunha Lopes.**

Informamos que após avaliação pelos *referees*, entraremos em contato com V.Sa.

Agradecida pela atenção e disposição em participar desse volume, apresentamos-lhe nossas cordiais saudações,

  
Mary Elizabeth C. Bernardes-de-Oliveira  
Editora do Volume Temático da Revista Geologia USP,  
dedicado às Pesquisas Gondvânicas Brasil- Índia.