

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

**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**

DAIANA ROCKENBACH BOARDMAN

ORIENTADOR: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

Porto Alegre – 2011

BOARDMAN, DAIANA ROCKENBACH

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. / Daiana Rockenbach Boardman. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2011.

[220 f]. il.

Tese (Doutorado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

1. Fitoestratigrafia. 2. Palinoestratigrafia. 3. Permiano Inferior. 4. Formação Rio Bonito. 5. Bacia do Paraná. I. Iannuzzi, Roberto. II. Souza, Paulo Alves de. III. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca do Instituto de Geociências – UFRGS
Alexandre Ribas Semeler CRB 10/1900

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

**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**

DAIANA ROCKENBACH BOARDMAN

ORIENTADOR: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Silvia N. Césari - Museu Argentino de Ciencias Naturales, Buenos Aires, Argentina

Profa. Dra. Rosemarie Rohn – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, Brasil

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

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

Porto Alegre – 2011

*Aos meus pais, Ivone e Luiz,
pelo amor e suporte incondicionais...
peças-chave na construção de quem hoje sou...*

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGGEO/UFRGS), por meio de sua estrutura física e constituição do corpo docente.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de doutorado.

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 por abrirem as portas de suas coleções de Paleobotânica para que este trabalho pudesse ser realizado.

Aos estratígrafos Drs. Michael Holz, Claiton M. S. Scherer e Ricardo da C. Lopes por tantas discussões e aprendizados nesta ciência em que tento dar meus primeiros passos.

As amigas que trago no peito desde os tempos da UNISINOS, Anamaria Stranz (Aninha) e Rosana Gandine (Gringa), Lorelai de Lima (Lori) e Nelsa Cardoso (Nelsita), onde sempre encontrei o apoio que precisava.

As amigas paleobotânicas Graciela P. Tybusch, Juliana M. de Souza, Francine Kurzawe e Esther R. S. Pinheiro dividindo pequenos e grandes sentimentos no dia-a-dia. Em especial, a Graciela, sempre com um auxílio nas Glossopterídeas.

Aos amigos do Laboratório de Palinologia, Eduardo Premaor, Larissa Smaniotto, Omaira Arango, Renato Backes, Rodrigo Cancelli, Thiago Fischer, Wagner Silva, Marla Saldanha, que com tanto carinho e paciência me receberam. Em especial a Cristina Félix e Ana L. Outa Mori, que, além da supervisão nos meus aprendizados palinológicos, são hoje grandes amigas.

Em especial, gostaria de agradecer:

Aos meus orientadores na vida profissional que se tornaram grandes amigos na vida pessoal, Dra. Tânia Lindner Dutra, que me apresentou a ciência e a Paleontologia com a magia e o romance de uma nova paixão; Dr. Roberto Iannuzzi, que me ensinou como sistematizar os conhecimentos e; Dr. Paulo Alves de Souza, que me mostrou como profissionalizá-los. Cada um ao seu modo, me auxiliando a compor a profissional que hoje sou.

Aos meus pais, Luiz e Ivone, e meu irmão, Luis, pelo amor, estímulo e apoio em todos os momentos, por estarem sempre presentes na minha vida e por me fazerem sentir que sempre posso contar com vocês. Amo vocês.

Ao Luciano, que depois de tantos anos reapareceu em minha vida, me ajudando a construir um *amor*, em que o companheirismo, a confiança, a paz e o bem estar do outro impera em nosso dia-a-dia; por trazer consigo o Adrian, que tanto alegra os nossos dias e; por edificar comigo a família que tanto sonhei... Amo vocês.

PARTE I

**Aspectos introdutórios e
Análise integrativa dos resultados**

RESUMO

Os depósitos de carvão da porção sul-brasileira da Bacia do Paraná são conhecidos pelo seu abundante e diversificado conteúdo macroflorístico típico da “Flora *Glossopteris*”, reconhecida em todo o Permiano do Gondwana. Muitos trabalhos sobre esta flora foram realizados nos estratos do Rio Grande do Sul, utilizando-se para isso de diferentes ferramentas e abordagens. Contudo, a carência de informações mais detalhadas a respeito dos espécimes publicados nestas contribuições, tais como, ausência de descrições/ilustrações, listas sinonímicas, informações estratigráficas, tornou-se inviável o uso direto destes dados para as localidades de interesse desta tese. O presente estudo oferece uma análise dos dados paleobotânicos e novos registros palinológicos para o Afloramento Quitéria e a Mina do Faxinal. Além disso, realizou-se uma análise integrativa entre estas localidades e o Afloramento Morro do Papaléo, associando-se dados oriundos da fito e palinoestratigrafia, da estratigrafia de sequências e de datações radiométricas para esta porção da bacia, visando um melhor entendimento e posicionamento cronoestratigráfico dos depósitos associados aos carvões do Paleovale Mariana Pimentel. A revisão do material paleobotânico registrou 15 táxons tanto no Afloramento Quitéria quanto na Mina do Faxinal. Foi registrada a presença de alguns táxons pela primeira vez neste trabalho, como *Brasilodendron* sp., no nível Quitéria Base, e *Glossopteris browniana* e *Botrychiopsis plantiana*, em Quitéria Topo. *Gondwanostachys australis*, em Quitéria Base, foi re-avaliada em *Giridia quiteriensis*. A listagem atualizada dos táxons presentes possibilitou confirmar a identificação da Zona *Glossopteris/Rhodeopteridium* nas duas localidades. Entre os palinomorfos foram documentados 69 táxons nos níveis do Afloramento Quitéria e 45 nos níveis da Mina do Faxinal. A análise destes conjuntos indicou similaridades para as duas localidades, com o domínio de esporos perante os grãos de pólen. A presença de *Protohaploxypinus limpidus* e *Stellapollenites talchirensis* e a abundância de *Granulatisporites austroamericanus* e *Converrucosisporites confluens* no Afloramento Quitéria e a presença de *Protohaploxypinus goraiensis* e *Illinites unicus* na Mina do Faxinal possibilitaram assinalar a Subzona *Protohaploxypinus goraiensis*, Base da Zona *Vittatina costabilis* (ZVc) para estes depósitos. Nenhum elemento diagnóstico da Subzona *Hamiapollenites karroensis* foi registrado. Contudo, registraram-se raros espécimes de grãos de pólen marcadores da subjacente Zona *Lueckisporites virkkiae* (ZLv), tanto em Quitéria

(*Striatopodocarpites pantii* e cf. *Weylandites* sp.) quanto na Mina do Faxinal (*Lueckisporites virkkiae*), os quais são aqui considerados como primeiros aparecimentos e característicos de um intervalo de transição entre as zonas ZVc e ZLv, corroborando trabalhos recentes. A ausência deste intervalo de transição na seção do Morro do Papaléo pode ser explicada por esta localidade encontrar-se situada na porção mais distal do paleovale, a qual teria sofrido um processo erosivo mais intenso com as mudanças do nível de base. Integrando os resultados aqui obtidos com os registrados para o Afloramento Morro do Papaléo foi possível correlacionar estratigraficamente as localidades junto a uma sequência de poços ao longo do Paleovale Mariana Pimentel. Ainda, os resultados foram comparados com os estudos recentemente realizados na região de Candiota, permitindo inferir que o limite de sequência SB3 atuou de forma diferenciada entre as duas regiões, erodindo de forma mais intensa os sedimentos no Paleovale Mariana Pimentel do que na região de Candiota. Comparando os resultados palinológicos e considerando a posição estratigráfica de cada localidade e as idades radiométricas registradas para a região de Candiota e na Mina do Faxinal, pode-se afirmar que: (I) a seção de Quitéria preservou sedimentos mais antigos em relação áqueles da região de Candiota, (II) a Mina do Faxinal preservou sedimentos levemente mais antigos em relação áqueles de Quitéria e (III) o Afloramento Morro do Papaléo registrou os níveis fossilíferos mais antigos dentre as localidades abordadas.

Palavras chave: Fitoestratigrafia, Palinoestratigrafia, Permiano Inferior, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul.

ABSTRACT

The coal deposits of the southern-brazilian Paraná Basin are known for their content macrofloristic abundant and diversified typical of the "Flora *Glossopteris*", recognized throughout the Permian of Gondwana. Many work about this flora were performed in strata of Rio Grande do Sul, using for it tools and approaches different.

However, the lack of more detailed information about the published specimens of these contributions, such as lack of descriptions/ illustrations, lists synonyms, stratigraphic information, it became impossible the direct use of these data for the localities of interest in this thesis. The present study provides an analysis of paleobotanical data and new palynological records to the Quitéria Outcrop and the Faxinal Coalfield. In addition, there was an integrative analysis between these locations and the Morro do Papaléo Outcrop, associating data from the phyto and palinostratigraphy, sequences stratigraphy and radiometrical dating for this portion of the basin, aiming a better understanding and chronostratigraphy positioning of the deposits associated with coals of Mariana Pimentel Paleovalley. The review of the material paleobotanist recorded 15 taxa in both in the Quitéria Outcrop and Faxinal Coalfield. It was recorded the presence of some taxa for the first time in this work, as *Brasilodendron* sp., in Quitéria Base, and *Glossopteris browniana* and *Botrychiopsis plantiana*, in Quitéria Top. *Gondwanostachys australis*, described to Quitéria Base, was re-evaluated in *Giridia quiteriensis*. The updated list of present taxa enabled to confirm the identification of the Zone *Glossopteris/ Rhodeopteridium* in these two locations. Among the palynomorph were documented 69 taxa at the Quitéria Outcrop and 45 levels to the Faxinal Coalfield. The analysis of these assemblages showed similarities to the two locations, with the dominance of spores before the pollen grains. The presence of *Protohaploxylinus limpidus* and *Stellapollenites talchirensis* and abundance of *Granulatisporites austroamericanus* and *Converrucosisporites confluens* at the Quitéria Outcrop and the presence of *Protohaploxylinus goraiensis* and *Illinites unicus* at the Faxinal Coalfield permitted assignment the *Protohaploxylinus goraiensis* Subzone, base of *Vittatina costabilis* Zone (VcZ) for these deposits. No element of the diagnostic of the *Hamiapollenites karroensis* Subzone was recorded. However, rare specimens of pollen grains markers of overlying *Lueckisporites virkkiae* Zone (LvZ) were recovered both in Quitéria (*Striatopodocarpites panties* and cf. *Weylandites* sp.) and the Faxinal Outcrop (*Lueckisporites virkkiae*), and they are considered here as first appearances, and

characteristic of a transition interval between the zones and ZVc ZLV, confirming recent work. The absence of this transition interval in the section of the Morro Papaleo can be explained by locality is situated in the most distal portion of paleovale, which suffered a more intense erosion with changes in base level. Integrating the results obtained here with those recorded for the Morro do Papaléo was possible to correlate stratigraphically these localities on a sequence of wells along the Mariana Pimentel Paleovalley. Still, the results were compared with recent studies in the region of Candiota, allowing to infer the sequence boundary SB3 acted out differently between the two regions, eroding more intense in the sediments of the Mariana Pimentel Paleovalley that in the Candiota region. Comparing the palynological results and considering the stratigraphic position of each location and radiometric ages recorded for the Candiota and Faxinal Coalfield regions, one can affirm that (i) the section of Quitéria preserved older sediments in relation to those of the Candiota region, (II) Faxinal Coalfield preserved slightly older sediments in relation to those of Quitéria and (iii) the Morro Papaléo recorded the fossiliferous levels oldest among localities discussed.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa de localização dos afloramentos Morro do Papaléo e Quitéria e da Mina do Faxinal 18
- Figura 2:** Localização e distribuição das Supersequências da Bacia do Paraná (com base em Milani, 1997, adaptado de Souza & Marques-Toigo, 2003) 23
- Figura 3:** Geologia simplificada e jazidas de carvão ao longo da borda norte do Escudo Sul-riograndense, destacando-se aquelas situadas no Paleovale Mariana Pimentel (seta) (adaptado de Lopes *et al.*, 2003) 25
- Figura 4:** Perfil estratigráfico do afloramento Quitéria com indicação dos níveis com amostras paleobotânicas e palinológicas estudadas 27
- Figura 5:** Perfil estratigráfico da Mina do Faxinal indicando os níveis paleobotânico e palinológicos estudados 28
- Figura 6:** Perfil estratigráfico do Morro do Papaléo (adaptado de Iannuzzi *et al.*, 2003a) indicando os níveis paleobotânico e palinológicos estudados (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; Smaniotto *et al.* 2006) 30
- Figura 7:** Síntese dos resultados quanto ao posicionamento Paleobotânico, Palinológico e Estratigráfico das localidades analisadas no Paleovale Mariana Pimentel (Afloramento Quitéria, Mina do Faxinal e Afloramento Morro do Papaléo) 57
- Figura 8:** Correlação das seções estudadas (Afloramento Quitéria, Mina do Faxinal e Morro do Papaléo), no contexto do Paleovale Mariana Pimentel com base nos critérios de Holz (1997; 1999) e Holz *et al.* (2000) 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de amostras paleobotânicas observada por localidade e as instituições depositárias	19
Tabela 2: Localidades amostradas para análise palinológica	20
Tabela 3: Correlação dos macrofósseis vegetais registrados no Afloramento Quitéria, na Mina do Faxinal e no Afloramento Morro do Papaléo	43
Tabela 2: Correlação dos palinomorfos registrados no Afloramento Quitéria (Q), na Mina do Faxinal (MF) e no Afloramento Morro do Papaléo (*Smaniotto <i>et al.</i> , 2006)	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Lista de táxons de macrofósseis vegetais registrados no Afloramento Quitéria com o histórico de cada táxon nos trabalhos anteriores e seu posicionamento estratigráfico	44
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	3
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE QUADROS	7
SOBRE A ESTRUTURA DESTA TESE	11

PARTE I

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	14
2.1. Justificativas	14
2.2. Objetivos	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1. Área de estudo	17
3.2. Revisão paleobotânica: levantamento e análise dos dados	19
3.3. Revisão dos palinomorfos: levantamento e análise dos dados	20
3.4. Análise integrativa dos resultados	21
4. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA	23
4.1. Bacia do Paraná	23
4.2. Aspectos da geologia local	24
4.2.1. Paleovale Mariana Pimentel	24
4.2.2. Afloramento Quitéria	26
4.2.3. Mina do Faxinal	28
4.2.4. Morro do Papaléo	29
5. CONTEXTUALIZAÇÃO BIOESTRATIGRÁFICA	31
5.1. Fitoestratigrafia	31
5.2. Palinoestratigrafia	32
6. CONTRIBUIÇÕES PALEOBOTÂNICAS E PALINOLÓGICAS PRÉVIAS DAS ÁREAS DE ESTUDO	34
6.1. Afloramento Quitéria	34
6.2. Mina do Faxinal	37
6.3. Morro do Papaléo	38

7. ANÁLISE INTEGRATIVA DOS RESULTADOS	40
7.1. Considerações gerais	40
7.2. Paleobotânica e Palinologia	41
7.2.1. Afloramento Quitéria	41
7.2.2. Mina do Faxinal	48
7.2.3. Morro do Papaléo	51
7.3. Bioestratigrafia	52
7.3.1. Afloramento Quitéria	53
7.3.2. Mina do Faxinal	54
7.3.3. Morro do Papaléo	55
7.4. Integração dos resultados	56
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

PARTE II

Capítulo 1. “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.

Capítulo 2. “Presence of the genus *Giridia* in the Paraná Basin (Lower Permian, Rio Bonito Formation)”. Boardman, D.R. & Iannuzzi, R. *Revista Brasileira de Paleontologia* 13(1): 5-12. 2010.

Capítulo 3. “Paleobotanical and palynological analysis from Quitéria Outcrop (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande do Sul, Brazil: taxonomy, biostratigraphy, and paleoecological implications”. Boardman, D.R., Souza, P.A., Iannuzzi, R. & Mori, A.L.O. *Ameghiniana*, submetido.

Capítulo 4. “Paleobotanical and palynological analysis of Faxinal Coalfield (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande do Sul, Brazil: taxonomy, biostratigraphy and paleoecological implications”. Boardman, D.R., Iannuzzi, R., Souza, P.A. & Lopes, R.C. *International Journal of Coal Geology*, submetido.

Capítulo 5. 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*

PARTE III

Anexo A. Fitoestratigrafia do Paleozóico da Bacia do Paraná: contexto atual”. Boardman, D.R & Iannuzzi, R. 12º Simpósio de Paleobotânicos e Palinólogos, 12, Boletim de resumos, pg. 26. 2008.

Anexo B. “Novas ocorrências de *Botrychiopsis plantiana* (Carr.) Arch. & Arrondo no Afloramento Quitéria, Permiano Inferior, Rio Grande do Sul: implicações bioestratigráficas”. Iannuzzi, R. & Boardman, D.R. 12º Simpósio de Paleobotânicos e Palinólogos, 12, Boletim de resumos, pg. 95. 2008.

Anexo C. Carta de submissão do manuscrito do Capítulo 3.

Anexo D. Carta de submissão do manuscrito do Capítulo 4.

Sobre a Estrutura desta Tese:

Esta Tese de Doutorado teve seu desenvolvimento entre os períodos de março de 2006 a julho de 2011, nos laboratórios de Paleobotânica e de Palinologia do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DPE/IG/UFRGS), sendo elaborada e finalizada na forma de artigos científicos, conforme as normas estabelecidas pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes:

Parte I

Aspectos introdutórios: consiste na revisão bibliográfica respectiva ao escopo principal desta tese, apresentando as informações paleobotânicas, palinológicas e estratigráficas prévias para a área de estudo, bem como uma contextualização sobre os esquemas fitoestratigráfico e palinoestratigráfico vigentes para o intervalo permiano na porção sul da Bacia do Paraná. São apresentados os objetivos desta tese, além da caracterização da área estudada e dos métodos empregados para o desenvolvimento do trabalho.

Análise integrativa dos resultados: dispõe de uma síntese dos resultados obtidos nas publicações e manuscritos encaminhados (Parte II), além da integração destes resultados com novas considerações vislumbradas para trabalhos subseqüentes. As referências bibliográficas utilizadas nos capítulos I e II são relacionadas após o término deste item.

Parte II**Corpo principal da tese**

Neste item estão incluídos os dados que compõem o corpo principal desta tese, os quais são apresentados na forma de quatro artigos científicos e um capítulo de livro.

Parte III**Anexos**

Neste item são apresentados as cartas de submissão dos artigos ainda não publicados e resumos publicados em congressos/ simpósios cujo conteúdo é pertinente aos resultados desta tese.

1. INTRODUÇÃO

Os depósitos de carvão da região sul do Brasil são conhecidos pelo seu abundante e diversificado conteúdo macroflorístico representante da "Flora *Glossopteris*". As camadas de carvão e os macrofósseis vegetais associados estão bem distribuídos ao longo da Formação Rio Bonito (base do Grupo Guatá), Permiano da Bacia do Paraná, e estão relacionados com a fase de aquecimento climático que sucedeu o período glacial que abrangeu o Gondwana durante o final do Paleozóico (Gastaldo *et al.*, 1996; Montañez *et al.*, 2007).

Movido pelo interesse econômico nas regiões onde esse bem mineral ocorre, os carvões da Bacia do Paraná passaram a ser foco de diversos estudos, com citações pioneiras da macroflora formadora desses carvões (Carruthers, 1869; Zeiller, 1895; White, 1908) já no século XIX. Descrições mais detalhadas desta macroflora registraram-se a partir de meados do século XX (Dolianiti, 1946; 1948; 1952; 1953a; 1953b; 1953c; 1954a; 1954b; 1956a; 1956b; 1971; Bernardes-de-Oliveira, 1969; 1977; 1978; 1980a; 1980b; 1988; Rigby, 1972a; 1972b), contudo, concentradas nas ocorrências situadas no Estado de Santa Catarina. Foi somente a partir da década de 70 que a macroflora dos carvões do Rio Grande do Sul passou a ser sistematicamente estudada (Guerra-Sommer, 1988; 1989; 1992; Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1989; Dias & Guerra-Sommer, 1994; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2001; Guerra-Sommer *et al.*, 1991; 1995a; 1995b; 2001; Piccoli *et al.*, 1991; Jasper & Guerra-Sommer, 1998; 1999). Nos últimos anos, novos dados sobre essa macroflora, gerados a partir de descrições inéditas e revisões sistemáticas, foram realizadas (Vieira & Iannuzzi, 2000; Jasper *et al.*, 2003; 2005; 2008a; Boardman *et al.*, 2006; Salvi *et al.*, 2008; Tybusch & Iannuzzi, 2008; 2010; Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2010a; 2010b; Souza & Iannuzzi, 2007; 2009; Iannuzzi & Boardman, 2008; Adami-Rodrigues *et al.* 2004a; 2004b; Jasper *et al.*, 2008a; Boardman & Iannuzzi, 2010).

À medida que o conhecimento sistemático da paleoflora permiana foi sendo ampliado, inferências referentes ao posicionamento estratigráfico e a idade relativa desses depósitos foram sendo realizadas (Corrêa-da-Silva & Arrondo, 1977; Andreis *et al.*, 1980; Guerra-Sommer *et al.*, 1995b; Cazzulo-Klepzig & Guerra-Sommer, 1983; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000; 2001). Rösler (1978) apresentou pioneiramente a sucessão florística do Permo-Triássico de toda a borda leste da Bacia do Paraná. Em 1993, Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig propuseram um

fitozoneamento para a sequência Neopaleozóica do Rio Grande do Sul. Nos últimos anos, este esquema fitoestratigráfico vem passando por adequações, devido à grande quantidade de trabalhos paleobotânicos realizados posteriormente; no entanto, ele tem se mantido como o esquema vigente para esta porção da bacia (ver Iannuzzi *et al.*, 2007a).

Paralelamente aos estudos paleobotânicos, muitos trabalhos palinológicos sobre os depósitos aflorantes de carvão do Rio Grande do Sul foram realizados nas últimas décadas (*e.g.*, Marques-Toigo *et al.*, 1975; Guerra-Sommer *et al.*, 1984; Picarelli *et al.*, 1987; Dias & Guerra-Sommer, 1994; Meyer & Marques-Toigo, 2001; Smaniotto *et al.*, 2006), gerando um vasto arcabouço de dados. Este amplo panorama palinológico possibilitou a proposição de um esquema palinoestratigráfico regional (Marques-Toigo, 1988; 1991; Souza & Marques-Toigo, 2003; 2005) que, posteriormente, foi integrado ao esquema palinoestratigráfico para toda a Bacia do Paraná (Souza, 2006).

A integração dos dados paleobotânicos a outras ferramentas como a palinologia, datações radiométricas e estratigrafia de sequências, tem ampliado o entendimento desses depósitos (Iannuzzi, 2010; Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2010a; 2010b; Jasper *et al.*, 2006; Guerra-Sommer *et al.*, 2008a; 2008b; 2008c), no sentido de aumentar a possibilidade de correlações com outras regiões da bacia e até mesmo com bacias circunvizinhas. No entanto, muito dos trabalhos já realizados apresentam apenas citações e ilustrações de táxons selecionados, sem apresentar uma lista detalhada das composições macro e microflorística de cada localidade, dificultando o uso desses dados para a realização de uma análise crítica dos resultados obtidos.

Este volume apresenta uma análise bioestratigráfica de depósitos de carvão importantes no Paleovale Mariana Pimentel. Para isto, foram realizados: (i) uma ampla revisão taxonômica dos macrofitofósseis junto a coleções científicas depositárias, além da realização de novas coletas, buscando atualizar os dados paleobotânicos; (ii) novas análises palinológicas, procurando estabelecer um padrão no processamento e análise das amostras das diferentes localidades; (iii) análise das implicações bioestratigráficas, com base nos esquemas fitoestratigráficos (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993; Iannuzzi *et al.*, 2007a) e palinoestratigráficos disponíveis para esta porção da bacia (Souza & Marques-Toigo, 2003; 2005; Souza, 2006) e (iv) integração dos dados bioestratigráficos com o

modelo de estratigrafia de sequências, estabelecido para a borda sudeste da Bacia do Paraná (Holz, 1997; 1999; Holz *et al.*, 2000; 2006).

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

2.1. Justificativas

Os macrofósseis vegetais mostram-se como uma importante ferramenta em estudos de diversos depósitos da Bacia do Paraná. Sua análise permite correlações entre tafofloras locais e regionais, datações relativas dos depósitos, além de interpretações paleoambientais e paleoclimáticas. Esses fósseis estão presentes em quase todas as unidades do Paleozóico Superior, porém, muitas vezes, são restritos a determinados horizontes, como por exemplo, os níveis associados aos depósitos de carvão do Grupo Itararé e da Formação Rio Bonito. Devido à sua grande diversidade e abundância, a elaboração de diversos trabalhos de cunho bioestratigráfico têm sido permitido (Rösler, 1978; Millan, 1987; Guerra-Sommer & Cazzulo-Kleipzig, 1993; Jasper *et al.*, 2003; Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2005; Iannuzzi & Souza, 2005; Mune & Bernardes-de-Oliveira, 2007).

Porém, alguns problemas ainda persistem, dificultando a utilização dos macrofósseis vegetais na bioestratigrafia, como a ausência de coletas sistemáticas de material paleobotânico ao longo de extensas áreas geográficas. Tradicionalmente, os paleobotânicos têm explorado exaustivamente poucas localidades da bacia, sem, no entanto, estender-se lateralmente em seu trabalho de prospecção. Um exemplo clássico disto é o Afloramento Bainha, em Criciúma, Santa Catarina, o qual foi intensamente amostrado por diversos pesquisadores ao longo do tempo (Dolianiti, 1946; 1948; 1952; 1953a; 1953b; 1953c; 1954a; 1954b; 1956a; 1956b; 1971; Barbosa, 1958; Millan, 1967a; 1967b; 1969a; 1969b; 1971; Yoshida, 1966; 1968; Rigby, 1969a; 1969b; 1972a; 1972b; Bernardes de Oliveira, 1969; 1977; 1978; 1980a; 1980b; 1988; Bernardes de Oliveira & Carvalho, 1981; Bernardes de Oliveira & Pontes, 1977; Bernardes de Oliveira & Yoshida, 1982; Iannuzzi, 2002). Contudo, o conhecimento sobre outras seções e/ou localidades aflorantes naquele e em outros municípios circunvizinhos é raticamente nulo.

Além disso, a forma como os resultados são geralmente apresentados nas publicações dificulta seu uso diretamente em uma análise bioestratigráfica, sem que, por exemplo, um re-estudo dos espécimes presentes em determinada localidade seja realizado. Frequentemente, apenas citações e poucas ilustrações dos táxons

selecionados são oferecidas, sem a apresentação de listas taxonômicas. Da mesma forma, a ausência de um histórico dos trabalhos prévios, de uma discussão dos resultados obtidos e da análise de seu significado frente ao arcabouço já construído prejudica o uso destes dados em análises subseqüentes.

A Paleobotânica e a Palinologia têm se destacado como importantes ferramentas geológicas por fornecerem elementos para a compreensão e reconstituição dos ambientes sedimentares, datação relativa e correlação estratigráfica. Na Bacia do Paraná, o intervalo Pensilvaniano/Permiano é o melhor estudado nesse aspecto e, apesar de existirem várias propostas bioestratigráficas baseadas na paleobotânica (Rösler, 1978; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993) e palinologia (Daemon & Quadros, 1970; Souza & Marques-Toigo, 2005; Souza, 2006), ainda não há consenso quanto ao posicionamento cronoestratigráfico de algumas destas unidades. Porém, nos últimos anos, muitos trabalhos têm buscado relacionar as propostas fito e palinoestratigráficas vigentes (Iannuzzi & Souza, 2005; Azcuy *et al.*, 2007; Iannuzzi *et al.*, 2007a; 2010b; Holz *et al.*, 2010), na busca de ampliar o conhecimento sobre a sucessão destas paleofloras no tempo. A raridade de elementos biomarcadores, a escassez e discrepâncias entre as datações absolutas e, adicionalmente, a pouca compreensão do significado paleoambiental das paleobiotas são os principais fatores responsáveis por esta limitação.

Mesmo assim, os microfósseis vegetais (esporomorfos) são extremamente úteis nas correlações bioestratigráficas, apresentando inúmeras vantagens sobre os macrofósseis, uma vez que podem ser obtidos tanto em afloramentos quanto em subsuperfície, enquanto os macrofósseis vegetais são normalmente estudados a partir de amostras de afloramento (Iannuzzi, 2004). No Paleozóico Superior da Bacia do Paraná, os palinomorfos se destacam, permitindo o estabelecimento de zoneamentos bioestratigráficos relativamente contínuos, o que possibilita correlações e datações relativas em toda a bacia (como Daemon & Quadros, 1970; Souza & Marques-Toigo, 2003; 2005; Souza, 2006).

Por outro lado, o setor sul da bacia ainda é relativamente desconhecido palinologicamente, com exceção dos estudos focados nos níveis de carvão do Estado do Rio Grande do Sul, com trabalhos publicados até meados da década de 90 (*e.g.*, Marques-Toigo *et al.*, 1975; Ybert, 1975; Guerra-Sommer *et al.*, 1984; Picarelli & Marques-Toigo, 1985; Picarelli *et al.*, 1987; Dias & Guerra-Sommer, 1994; Meyer & Marques-Toigo, 2001). A partir de então, as contribuições palinológicas são

mais pontuais, e não refletem um caráter de levantamento sistemático, com raras exceções (Smaniotto *et al.*, 2006; Mori & Souza, 2010). Desta forma, apresentam uma problemática semelhante à encontrada nos dados paleobotânicos.

Em termos de integração de resultados paleobotânicos e palinológicos, os esforços têm se intensificado. Os últimos trabalhos sobre essa temática são referentes aos níveis de carvão do Estado do Rio Grande do Sul (Cazzulo-Klepzig *et al.*, 2007; Jasper *et al.*, 2006; Guerra-Sommer *et al.*, 2008a; 2008b; 2008c), alguns dos quais incluindo datações radiométricas. Mais uma vez, esses últimos trabalhos não exploram os resultados palinológicos de maneira descritiva e sistemática. Além disso, para uma mesma localidade há posicionamentos palinoestratigráficos distintos (Guerra-Sommer *et al.*, 2008a; 2008b), sem que seja apresentada nenhuma justificativa quanto aos táxons-guia utilizados para a obtenção de tais conclusões.

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.

2.2. Objetivos

O objetivo geral desta tese é “realizar estudos paleobotânicos e palinológicos dos níveis próximos aos das camadas portadoras de carvão encontrados ao longo das seções aflorantes do “Paleovale Mariana Pimentel”, a fim de contribuir para a integração dos dados de ambas as ferramentas”, sendo apresentados como objetivos específicos:

- a) a produção de dados paleobotânicos e palinológicos (análise taxonômica) de localidades com ocorrência de registro paleoflorístico referentes aos depósitos de carvão na porção sul-brasileira da Bacia do Paraná, a partir de novas campanhas de campo e da análise de material depositado em coleções científicas, visando a produção de listas completas e atualizadas dos táxons encontrados em cada localidade;
- b) integrar os resultados paleobotânicos, palinológicos e estratigráficos, a fim de auxiliar em um melhor entendimento do posicionamento estratigráfico das associações megaflóricas relacionadas aos níveis de carvão no Paleovale Mariana Pimentel;

- c) colaborar na definição da validade e delimitação das fitozonas em relação ao arcabouço palinoestratigráfico estabelecido, preenchendo uma lacuna fundamental para a integração não só dos dados paleontológicos, bem como destes com os estratigráficos;
- d) auxiliar no levantamento dos parâmetros tafonômicos e paleoecológicos vinculados à geração do registro paleoflorístico analisado, com o intuito de auxiliar na reconstrução dos paleoambientes e das paleocomunidades.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Áreas de estudo

Visando solucionar parte da problemática levantada sobre a macroflora geradora dos carvões da porção sul da Bacia do Paraná, tomou-se como base e ponto de partida para a seleção das áreas de estudo o Afloramento Morro do Papaléo, localizado em Mariana Pimentel, no Estado do Rio Grande do Sul (RS). Na última década, esta localidade vem sendo bastante estudada, com trabalhos de cunho paleobotânico, palinológico e estratigráfico, com análise integrativa destas ferramentas. Além disso, os trabalhos já realizados para esta localidade (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2010a; Smaniotto *et al.*, 2006) apresentaram seus resultados de forma descritiva (lista completa dos táxons registrados em diversos níveis), possibilitando seu uso direto em correlações posteriores.

Desta forma, buscaram-se localidades que pudessem oferecer tanto dados paleobotânicos quanto palinológicos a fim de apoiar uma análise bioestratigráfica mais precisa desses depósitos. Com base nisto, as localidades selecionadas como foco deste estudo foram os afloramentos Morro do Papaléo, em Mariana Pimentel, Quitéria, em Pantano Grande, e Mina do Faxinal, em Arroio dos Ratos, todas localizadas no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Para todas estas regiões citadas procurou-se levantar dados (inéditos e/ou bibliográficos) referentes às três ferramentas de interesse (Paleobotânica, Palinologia e Estratigrafia).

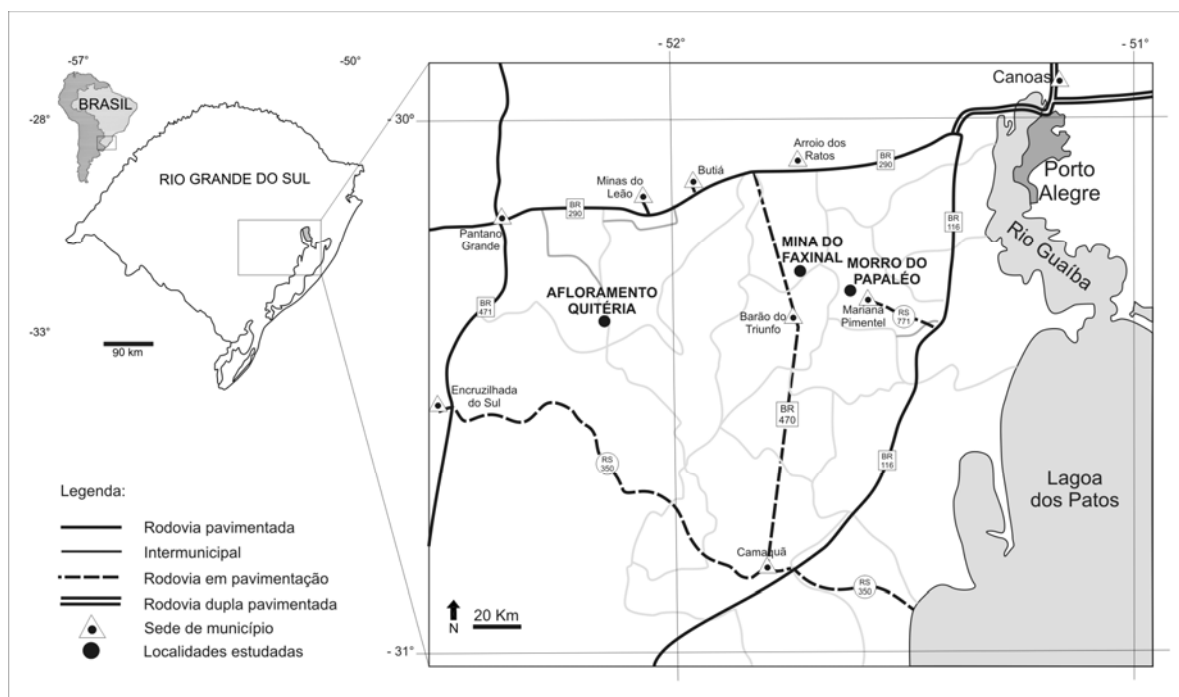


Figura 1: Mapa de localização dos afloramentos Morro do Papaléo e Quitéria e da Mina do Faxinal.

Outras localidades foram incluídas na discussão dos resultados, uma vez que apresentaram dados importantes referentes a alguma das ferramentas aqui utilizadas, possibilitando uma boa correlação dos dados e auxiliando em um melhor entendimento das três localidades foco deste estudo. As localidades secundárias que dão suporte a este trabalho são: o corte de estrada da BR293 – Km 152, em Candiota (Mori & Souza, 2010, Mori *et al.*, 2011; submetido), no Rio Grande do Sul, e o Afloramento Bainha (síntese das pesquisas em Iannuzzi, 2002), em Santa Catarina. Para o Afloramento Bainha não foram obtidos bons resultados para palinórfos, sendo desta forma utilizando os dados paleobotânicos e estratigráficos como base para a análise comparativa. Por outro lado, mesmo tendo inicialmente como foco as localidades contendo microfósseis vegetais, o afloramento da BR293 – Km 152, na região de Candiota, RS (Mori & Souza, 2010), foi incluído neste estudo por apresentar uma palinoflora com particularidades semelhantes às aquelas encontradas na Mina do Faxinal e no Afloramento Quitéria. Além da palinoflora de interesse, dados estratigráficos e radiométricos foram obtidos para esta localidade (Mori & Souza, 2010; Mori *et al.*, 2011), tornando interessante sua inclusão nas correlações aqui realizadas.

3.2. Revisão paleobotânica: levantamento e análise dos dados

Para o desenvolvimento deste trabalho realizou-se uma revisão detalhada do material macroflorístico já coletado das localidades de interesse, o qual encontra-se depositado nas seguintes coleções paleontológicas: (a) Museu de Paleontologia (MP) do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, do Instituto de Geociências (DPE-IGeo) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), RS; (b) Laboratório de História da Vida e da Terra (LaViGaea) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), em São Leopoldo, RS; (c) Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), em São Paulo, SP; (d) Museu Nacional (MN) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), RJ; (e) Museu de Ciências da Terra (MCT) do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), no Rio de Janeiro, RJ; (f) Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), em Lajeado, RS. Além disso, ao longo das atividades de campo, novas amostras foram coletadas e depositadas na Coleção de Paleobotânica do Museu de Paleontologia do DPE-IGeo-UFRGS. O levantamento do acervo paleobotânico junto às instituições citadas (Tabela 1) totalizou 2.573 amostras observadas.

Tabela 1. Número de amostras paleobotânicas observadas por localidade e respectivas instituições depositárias.

Localidades	Instituições depositárias	No. de amostras
Afloramento Quitéria, RS	UFRGS, UNISINOS, UNIVATES	630
Mina do Faxinal, RS	UFRGS, UNISINOS	228
Afloramento Morro do Papaléo, RS	UFRGS, UNISINOS	758
Afloramento Bainha, SC	UFRGS, MN-UFRJ, MCT-DNPM, USP, UNISINOS	957

Para a identificação taxonômica do material, uma ampla revisão bibliográfica dos registros paleobotânicos da Bacia do Paraná foi realizada previamente ao levantamento taxonômico junto às coleções. 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 qualquer perda de informação. Listas das espécies registradas em cada localidade foram confeccionadas e a frequência de cada gênero foi estimada. Amostras já publicadas, quando necessário, foram reanalisadas do ponto de vista taxonômico, de modo a

atualizar os dados sistemáticos (Boardman *et al.*, 2006, PII, Cap. 1; Tybusch & Iannuzzi, 2008; 2010, Iannuzzi & Boardman, 2008, PIII, Anexo A; Boardman & Iannuzzi, 2010, PII, Cap. 2; Souza & Iannuzzi, 2007; 2009). Para a interpretação bioestratigráfica, foram utilizadas morfoespécies guias incluídas nas biozonas propostas em Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), conforme estabelecido por Iannuzzi *et al.* (2007a).

3.3. Revisão dos palinomorfos: levantamento e análise dos dados

Ao longo dos trabalhos de campo, buscaram-se amostrar palinologicamente todas as localidades de interesse, geralmente, quando da descrição da seção para que pudessem ser posicionadas estratigraficamente. No entanto, muitas destas se mostraram estéreis para palinomorfos, mesmo depois de várias tentativas (Tabela 2).

Tabela 2. Localidades amostradas para análise palinológica.

Localidades	Níveis amostrados	Níveis férteis
Afloramento Quitéria, RS	13	6
Mina do Faxinal, RS	16	5
Afloramento Morro do Papaléo, RS **	5	3
Afloramento Bainha, SC	11	-

** Smaniotto *et al.*, (2006)

Para a Mina do Faxinal, além do material aqui processado, com quatro níveis férteis para palinomorfos, foram reanalisadas as lâminas utilizadas por Dias & Guerra-Sommer (1994), depositadas na palinoteca do Museu de Paleontologia da DPE-IGeo-UFRGS (MP-P 3289a-o), as quais são correlatas ao nível aqui estéril MF11, totalizando assim cinco níveis analisados.

Para o Afloramento Morro do Papaléo, Smaniotto *et al.* (2006) empregaram o mesmo processamento e método de análise palinológica aqui utilizados, além de apresentarem listas taxonômicas e a ilustração de diversos táxons encontrados, permitindo assim o uso destes resultados neste estudo.

O processamento das amostras foi realizado no Laboratório de Palinologia “Marleni Marques Toigo” do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da UFRGS (DPE-IGeo-UFRGS), seguindo o método padrão para amostras paleozóicas descrito em Quadros & Melo (1987). Cerca de 10 g de

cada amostra foi separada e desagregada fisicamente, sendo submetida ao ataque dos ácidos clorídrico e fluorídrico para dissolução dos constituintes carbonáticos e silicáticos, o que permite a recuperação de matéria orgânica incluída na matriz mineral. Após cada etapa realizada com tratamentos ácidos, as amostras foram neutralizadas através de sucessivas lavagens com água destilada. Os resíduos orgânicos foram concentrados por peneiração na fração entre 25 e 250 µm. As lâminas confeccionadas foram depositadas na Palinoteca do Museu de Paleontologia do DPE-IGeo-UFRGS, sob a sigla MP-P.

A análise palinológica constituiu-se na identificação taxonômica e caracterização quantitativa do material sob microscopia óptica, em aumentos de 200 a 1000 vezes, com contagem mínima de 350 espécimes por nível estratigráfico. Para a interpretação bioestratigráfica, foram utilizadas espécies guias das biozonas propostas em Souza & Marques-Toigo (2003; 2005) e Souza (2006). A organização geral dos esporomorfos em grupos vegetais está de acordo com a sistemática proposta por Stewart & Rothwell (1993), enquanto as afinidades botânicas dos grãos seguem as vinculações sugeridas por Azcuy (1978) e Balme (1995).

3.4. Análise integrativa dos resultados

As localidades selecionadas nesta tese já foram anteriormente estudadas do ponto de vista fito e palinoestratigráfico. O Afloramento Quitéria, inicialmente estudado por Piccoli *et al.* (1991), teve seus dados bioestratigráficos aprimorados posteriormente por Jasper *et al.* (2006). A Mina do Faxinal teve seus estudos sobre estas temáticas iniciados por Dias & Guerra-Sommer *et al.* (1994). Mais recentemente, Guerra-Sommer *et al.* (2008a; 2008b) reanaliaram os resultados palinológicos prévios (Guerra-Sommer *et al.*, 1984; Dias & Guerra-Sommer, 1994; Cazzulo-Klepzig *et al.*, 2007), posicionando a localidade segundo o zoneamento palinoestratigráfico atual (Souza & Marques-Toigo, 2003; 2005; Souza, 2006). Contudo, os dados sistemáticos foram geralmente reduzidos e não enfatizaram, de forma clara, as implicações biocronoestratigráficas e as relações entre os zoneamentos fito e palinoestratigráficos.

Um grande avanço nesse sentido foi apresentado para o Afloramento Morro do Papaléo (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2010a; 2010b; Smaniotto *et al.*, 2006), com a integração de dados paleobotânicos e palinológicos, a partir da geração de listas taxonômicas mais completas, publicação de fotomicrografias para análises posteriores, permitindo um exame estratigráfico mais moderno. Esta localidade tem

sido estudada do ponto de vista taxonômico, tafonômico e bioestratigráfico de modo contínuo, com progressivo aprimoramento de dados, seja do ponto de vista paleobotânico (Iannuzzi, 2000; Silva & Iannuzzi, 2000; Vieira & Iannuzzi, 2000; Souza & Iannuzzi, 2007; 2009; Roesler *et al.*, 2008; Tybusch & Iannuzzi, 2008), palinológico (Smaniotto *et al.*, 2006) ou estratigráfico (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2007a; 2010a; 2010b).

Somente quando integrados, os dados palinológicos e paleobotânicos revelam certas particularidades, tais como a constatação do forte controle litofaciológico em determinados intervalos ou níveis. Como exemplo, pode ser citado o abandono da Subzona *Caheniasaccites ovatus* (*sensu* Marques-Toigo, 1991), estabelecida com base em níveis de carvão da Formação Rio Bonito no sul do país. Esta subzona foi considerada uma “ecofacies” da Zona *Vittatina costabilis* por Souza & Marques-Toigo (2005), tendo em vista que não apresenta espécies-índices de valor para correlação regional ou bacinal. Em termos de associação macroflorística, esta antiga subzona corresponde às tafofloras associadas aos carvões da maioria das localidades conhecidas dos estados do sul do Brasil, tais como Candiota, RS.

Além disso, a integração dos dados com informações advindas da estratigrafia de sequências é fundamental, revelando correlações mais precisas e o papel mais contundente da bioestratigrafia na análise estratigráfica. Os trabalhos desenvolvidos nos últimos anos atestam essas iniciativas, como aqueles realizados no Afloramento Morro do Papaléo (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2010a), na correlação entre esta localidade e Quitéria (Iannuzzi *et al.*, 2010b), ou em outras sítios fossilíferos do intervalo representativo da glaciação permo-carbonífera na porção sul da Bacia do Paraná (Holz *et al.*, 2000; 2006) e, de modo mais completo, o trabalho que tratou de sintetizar os dados biocronoestratigráficos para construir a mais recente carta estratigráfica proposta para o intervalo pensilvaniano/ permiano da Bacia do Paraná (Holz *et al.*, 2010).

Com o levantamento e análise dos dados palinológicos e paleobotânicos, buscou-se o posicionamento estratigráfico de cada localidade selecionada, seja utilizando-se os trabalhos prévios, seja com o auxílio de estratígrafos colaboradores. Com este conjunto de dados correlacionaram-se os diversos sítios no intuito de encontrar informações em comum e/ou distintivas entre eles, permitindo visualizar um panorama geral das diversas comunidades de plantas relacionadas aos depósitos de carvão no Paleovale Mariana Pimentel.

4. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

4.1. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná possui área de cerca de 1.700.000 Km², distribuindo-se principalmente em território brasileiro, mas estendendo-se também no Paraguai, Uruguai e Argentina (Figura 2). 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 2), 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.

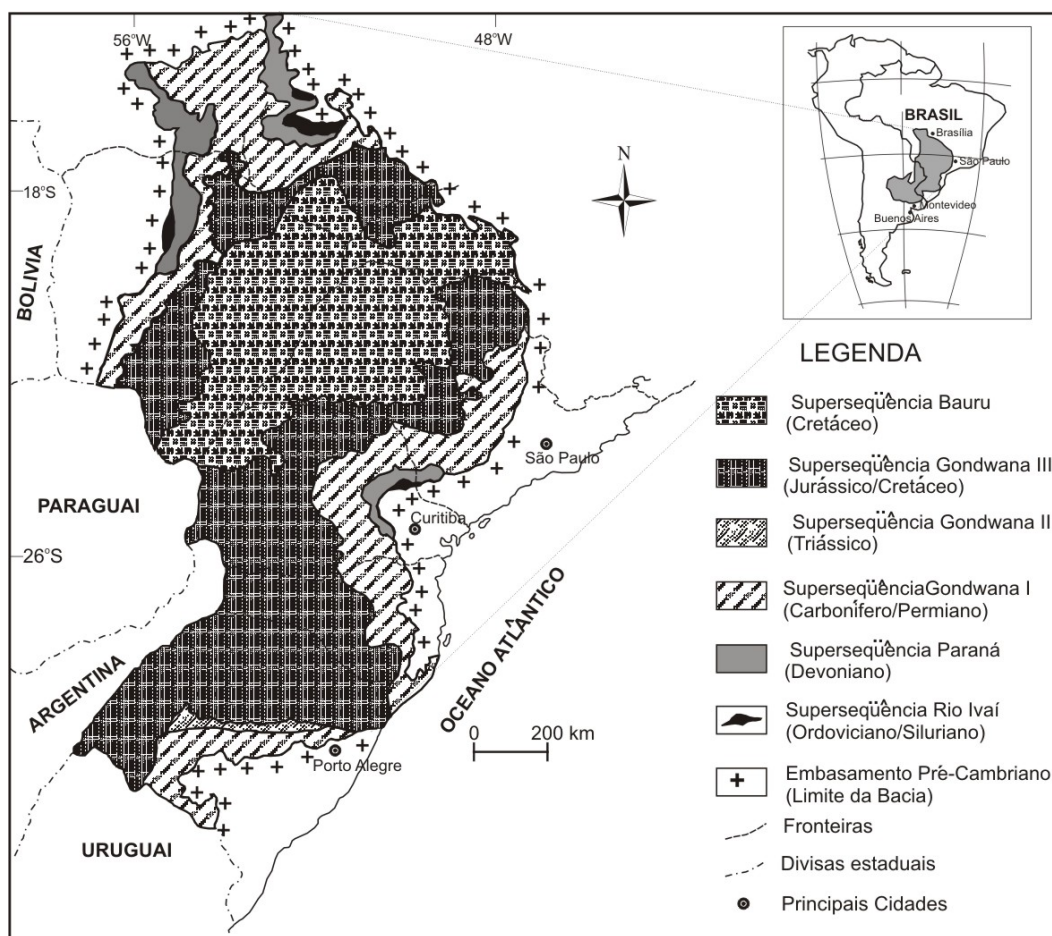


Figura 2. Localização e distribuição das Superseqüências da Bacia do Paraná (com base em Milani, 1997, adaptado de Souza & Marques-Toigo, 2003).

Os depósitos do Carbonífero Superior-Permiano da Bacia do Paraná, nas quais estão incluídas as localidades aqui estudadas, 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, relativos a processos e ambientes de natureza distinta, com registros glaciais e pós-glaciais, de origem marinha, continental e transicional (Milani & Zalán, 1999).

Os depósitos de carvão, ocorrentes nas localidades aqui analisadas, são registrados na Formação Rio Bonito. Esta unidade está associada às condições pós-glaciais que ocorreram nesta porção do Gondwana no Eopermiano, com predomínio de arenitos e pelitos associados a espessos níveis de carvão, representando típicos ambientes transicionais, como deltas, lagunas e estuários (Milani, 1997). Esses depósitos contêm grande diversidade e abundância de fósseis, incluindo faunas marinhas, bem como macro e microfósseis vegetais, os quais ocorrem ao longo de toda a seqüência e por isso são de grande valia no estudo estratigráfico deste intervalo em toda a bacia.

4.2. Aspectos da geologia local

4.2.1. Paleovale Mariana Pimentel

O Paleovale Mariana Pimentel (ou Paleovale Leão-Mariana Pimentel, como referido por Ribeiro, 1987) é uma extensão da área de sedimentação da Bacia do Paraná na borda norte do Escudo Sul-riograndense (Figura 3), a qual se prolonga desde a região sul da jazida de carvão da Mina do Leão em direção ao interior do embasamento granítico-gnáissico de idade neoproterozóica. Segundo Lenz & Maciel (1983), este paleovale tem 60 Km de comprimento por até 5 Km de largura, sendo orientado na direção E-W e limitado a oeste pelo Alto de Rio Pardo, o qual restringe a sedimentação gondvânica. O limite oriental foi propiciado por um basculamento regional na direção noroeste, expondo a leste as rochas do Grupo Itararé (base do pacote sedimentar) e preservando a oeste pequenas áreas da Formação Palermo (Lenz & Maciel, 1983). Este paleovale foi interpretado como um antigo vale

desenvolvido durante a glaciação carbonífera e preenchido por sedimentos de natureza glacial e pós-glacial ao final do Carbonífero e início do Permiano conforme Aboarrage & Lopes (1986).

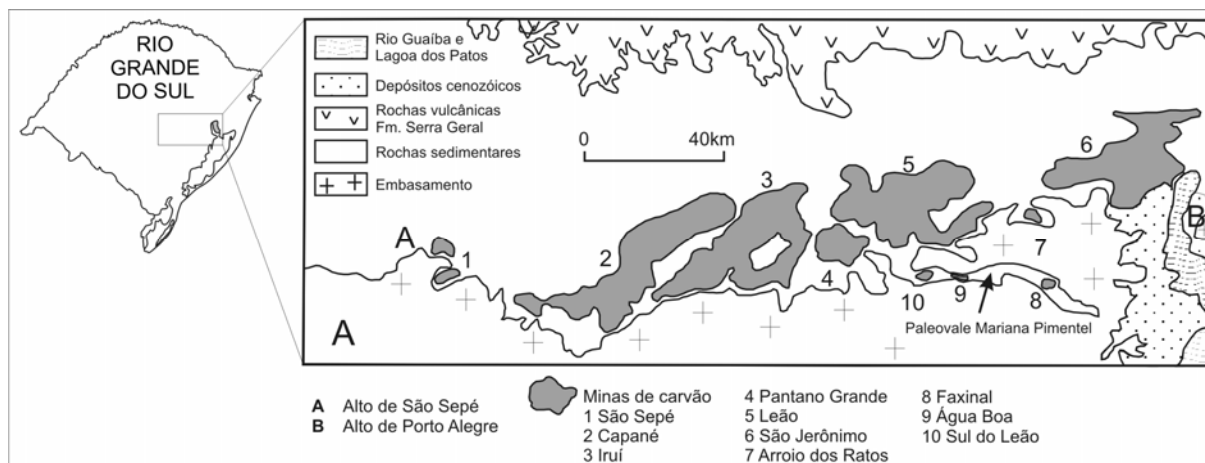


Figura 3: Geologia simplificada e jazidas de carvão ao longo da borda norte do Escudo Sul-riograndense, destacando-se aquelas situadas no Paleovale Mariana Pimentel (seta) (adaptado de Lopes *et al.*, 2003).

O registro sedimentar deste paleovale abrange rochas pertencentes aos grupos Itararé (Formação Taciba) e Guatá (formações Rio Bonito e Palermo), destacando-se a Formação Rio Bonito pela presença de camadas de carvão que, em três setores do paleovale, compõem as jazidas denominadas de “Faxinal”, “Água Boa” e “Sul do Leão” (Figura 3; Aboarrage & Lopes, 1986).

Com base no modelo de estratigrafia de sequências para esta porção da Bacia (Holz, 1997; 1999; Holz *et al.*, 2000), três limites de sequências são identificados na correlação entre o Paleovale Mariana Pimentel e a área da Mina do Leão. O limite mais antigo, SB1, limita o embasamento neoproterozóico das unidades gondvânicas, o seguinte, SB2, marca o limite entre a sucessão sedimentar de natureza glacial (abaixo) e a sucessão de camadas pós-glaciais de natureza transicional e continental (acima), enquanto o terceiro, SB3, registra o limite entre os depósitos transicionais e continentais (abaixo) e marinhos/transicionais (acima), marcando a base da transgressão marinha permiana (Lavina & Lopes, 1987).

A Formação Taciba, topo do Grupo Itararé, está registrada nas sondagens AB6RS e SL1RS, com espessuras testemunhadas de 131 e 181 m, respectivamente, sem atingir o embasamento. Nestas, dominam ritmos constituídos por alternância de lâminas de siltito cinza e arenito fino a muito fino, em proporções variáveis. Siltitos, argilitos e folhelhos cinza escuros, maciços, registram os períodos

de maior espessura de lâmina d'água no paleovale, enquanto arenitos médios, paraconglomerados e ortoconglomerados são de ocorrência subordinada, intercalando-se às camadas de siltitos e ritmitos (Pimentel & Godoy, 1983). Seu contato superior com a Formação Rio Bonito (Grupo Guatá) é interpretado como um limite de sequências (SB2 de Holz, 1997; 1999; Holz *et al.*, 2000), configurando uma superfície erosiva que marca a incisão fluvial sobre os depósitos glaciais (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2010a; 2010b).

Na Formação Rio Bonito são identificados dois intervalos distintos: um basal, com espessuras variando em função do paleorelevo, da ordem de 27 a 127 m, composto predominantemente por camadas de arenitos arcoseanos médios a grossos maciços ou com intercalação de lâminas de siltito cinza a cinza escuro, camadas de heterolitos sílticos e arenosos e siltitos cinza a cinza escuros e carbonosos. O intervalo superior, com espessuras variando entre 13 e 127 m, é composto por uma sucessão de camadas na qual predominam siltitos cinzas a cinza escuros e carbonosos, intercalando-se camadas de carvão, paraconglomerados com matriz síltico-carbonosa e arenitos (Pimentel & Godoy, 1983). O contato superior, com a sucessão de camadas de heterolitos nas porções distais, pelíticas na porção oeste do paleovale e arenosas nas proximais, é interpretado como um limite de sequências (SB3 de Holz, 1997; 1999; Holz *et al.*, 2000), no qual, nas áreas distais, é co-planar com a superfície transgressiva que delimita a base da transgressão marinha permiana, correspondendo ao início de deposição da Formação Palermo. Acima dos depósitos litorâneos sucedem-se camadas de heterolitos de deposição marinha plataformais até a base dos calcários da Formação Irati.

4.2.2. Afloramento Quitéria

O Afloramento Quitéria (30°20'17"S 52°10'12"W) corresponde a uma antiga pedreira de caulim a céu aberto, localizado no município de Pantano Grande, Rio Grande do Sul, distando aproximadamente 130 Km de Porto Alegre (Figura 1). Atinge-se o afloramento através da BR 290 e cerca de 8 Km após da entrada do município de Minas do Leão, toma-se uma estrada vicinal à esquerda, percorrendo 16 Km até a seção aflorante.

Os depósitos aflorantes na localidade apresentam cerca de 6,5 m de espessura (Figura 4) em exposição sendo 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 siltico. 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 4). 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 4). Sobre esta seqüência 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 seqüência de terceira ordem SB3 de Holz (1997; 1999) e Holz *et al.* (2000; 2006).

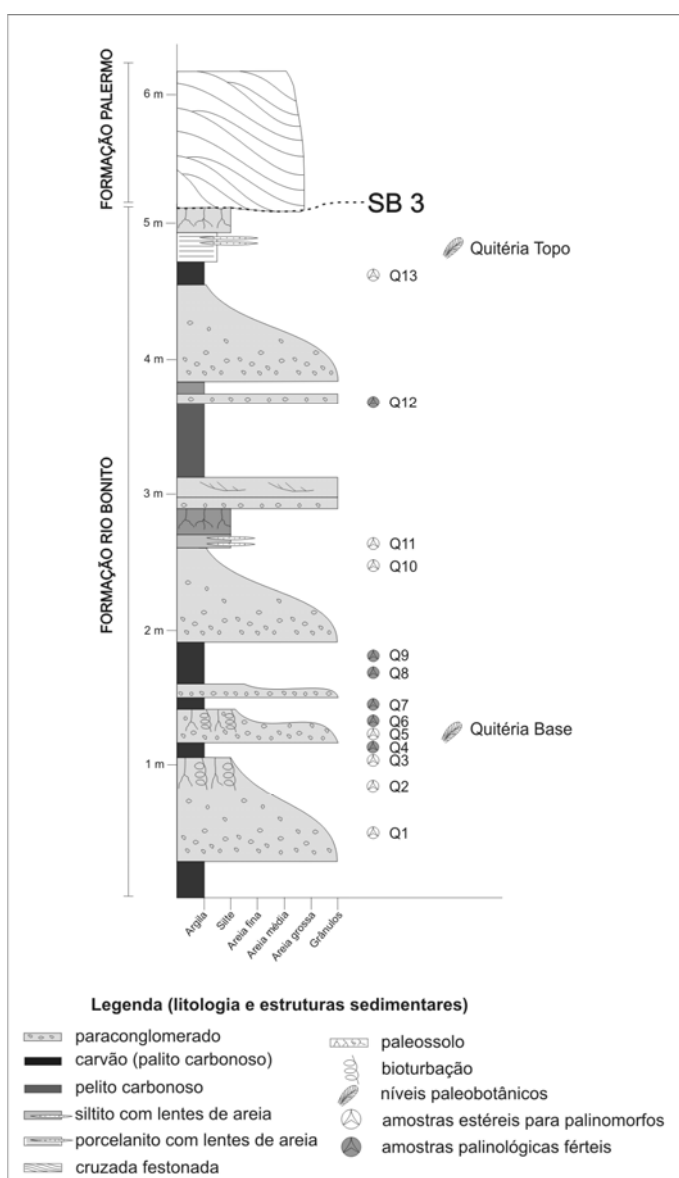


Figura 4: Perfil estratigráfico do afloramento Quitéria com indicação dos níveis com amostras paleobotânicas e palinológicas estudadas.

4.2.3. Mina do Faxinal

A Mina do Faxinal (30° 15' 38"S 51° 41' 58"W) está localizada no Km 152 da rodovia BR290, município de Arroio dos Ratos, Rio Grande do Sul, Brasil, distante 120 Km a sudoeste de Porto Alegre (Figura 1). A localidade foi uma mina de exploração de carvão até 2009, sobre a responsabilidade da COPELMI LTDA, que permitiu uma última amostragem paleontológica ainda no período exploratório. Atualmente, a área está inativa, em processo de restauração ambiental.

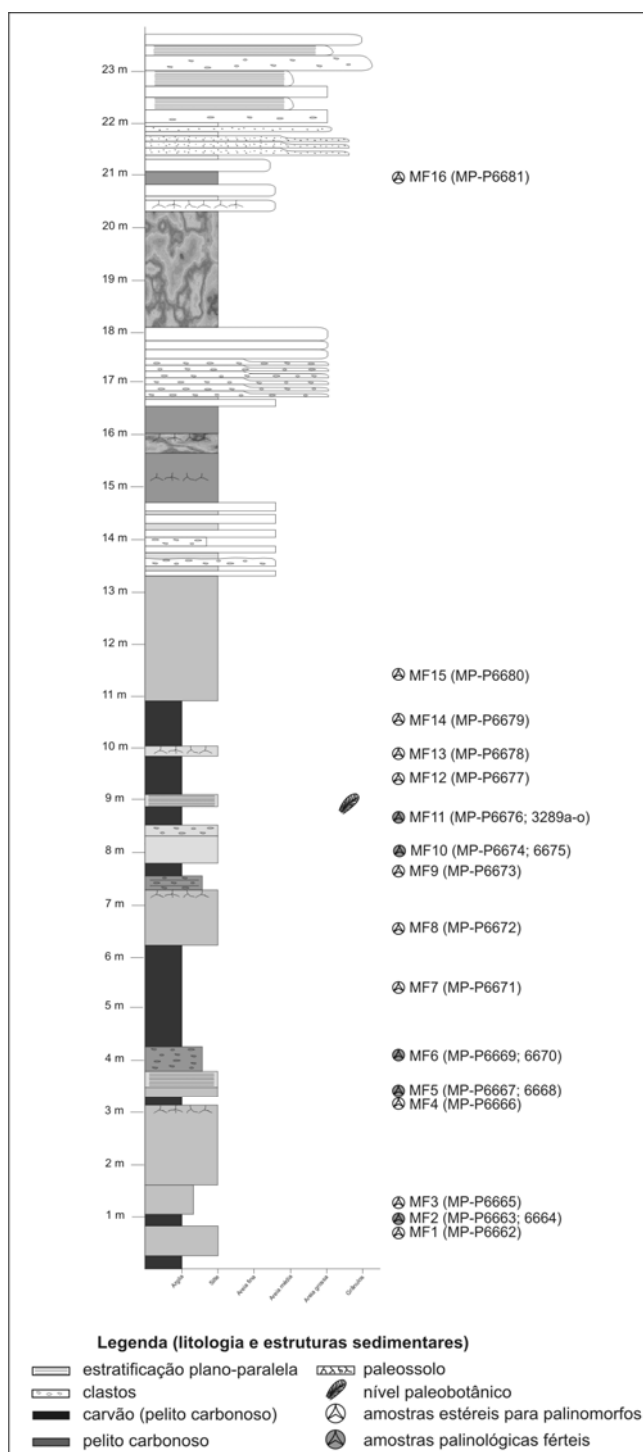


Figura 5: Perfil estratigráfico da Mina do Faxinal indicando os níveis paleobotânico e palinológicos estudados.

Os depósitos de afloramento na Mina do Faxinal compreendem cerca de 23 m de espessura (Figura 5). A porção inferior (0 a 13m) é constituída de camadas de carvão intercalados com níveis pelíticos e silticos. O nível de *tonstein* ocorre a cerca de 9 m entre duas camadas de carvão. Um pacote granocrescente acidentado com siltitos, arenitos e conglomerados caracteriza a porção superior (13 a 23 m). Paleossolos são recorrentes dentro destes depósitos, principalmente na porção inferior.

4.2.4. Morro do Papaléo

O Afloramento Morro do Papaléo (30° 18' 26"S – 51° 38' 29"W) situa-se 8 Km a noroeste da sede do município de Mariana Pimentel, cerca de 80 Km de Porto Alegre (Figura 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 do Papaléo, correspondente a uma seção exposta, em grande parte, pelas atividades de uma antiga mina de caulim a céu aberto.

A descrição da seção está de acordo com Iannuzzi *et al.* (2003a; 2003b), que realizaram o detalhamento litofaciológico mais recente para a localidade. Os depósitos do Afloramento Morro do Papaléo (Figura 6) compreendem cerca de 50 m de espessura. Na porção basal da seção ocorrem ritimitos siltico-argilosos, intercalados por níveis de pelitos carbonosos, até cerca de 5 m (níveis fossilíferos N1 e N2), passando a um intervalo caracterizado por siltitos maciços ou com laminação plano-paralela intercalados por siltitos avermelhados até cerca de 15 m (nível fossilífero N3). Sobrejacente ao N3 ocorre uma sucessão de arenitos muito finos a médios, lenticulares e com laminação ondulada truncante, e siltitos finamente laminados até cerca de 20 m. Estes siltitos compõem o nível N4.

Logo acima, há o registro de uma nítida superfície erosiva que corresponde ao limite entre o Grupo Itararé e a Formação Rio Bonito, regionalmente mapeado (Silva Filho, 1974; Corrêa da Silva, 1978) e interpretado no modelo de estratigrafia de sequência para a região como o Limite de Sequências SB2 (Holz, 1997; 1999; Holz *et al.*, 2006). O pacote de rochas que define essa superfície erosiva é composto por arenitos de granulometria média a muito fina, com camadas lenticulares. Na sequência observa-se um pequeno pacote constituído por arenitos finos, com camadas tabulares, estruturalmente maciços seguido por paraconglomerados maciços (diamictitos) intercalados por camadas de pelitos carbonosos (níveis N5 e N6). Finalizando a seção, têm-se arenitos grossos a conglomeráticos, mal

selecionados, compostos por camadas lenticulares com espessuras métricas, apresentando internamente estratificação cruzada acanalada. Estes arenitos assentam-se em contato francamente discordante sobre o pacote anterior, constituindo outra superfície erosiva, associada ao segundo limite de seqüência da seção denominado SB3 (Holz, 1997; 1999; Holz *et al.*, 2006). Intercalados aos arenitos ocorrem siltitos finos, esbranquiçados, com camadas lenticulares com estratificação plano-paralela. Estes estratos fitofossilíferos correspondem aos níveis N7 e N8.

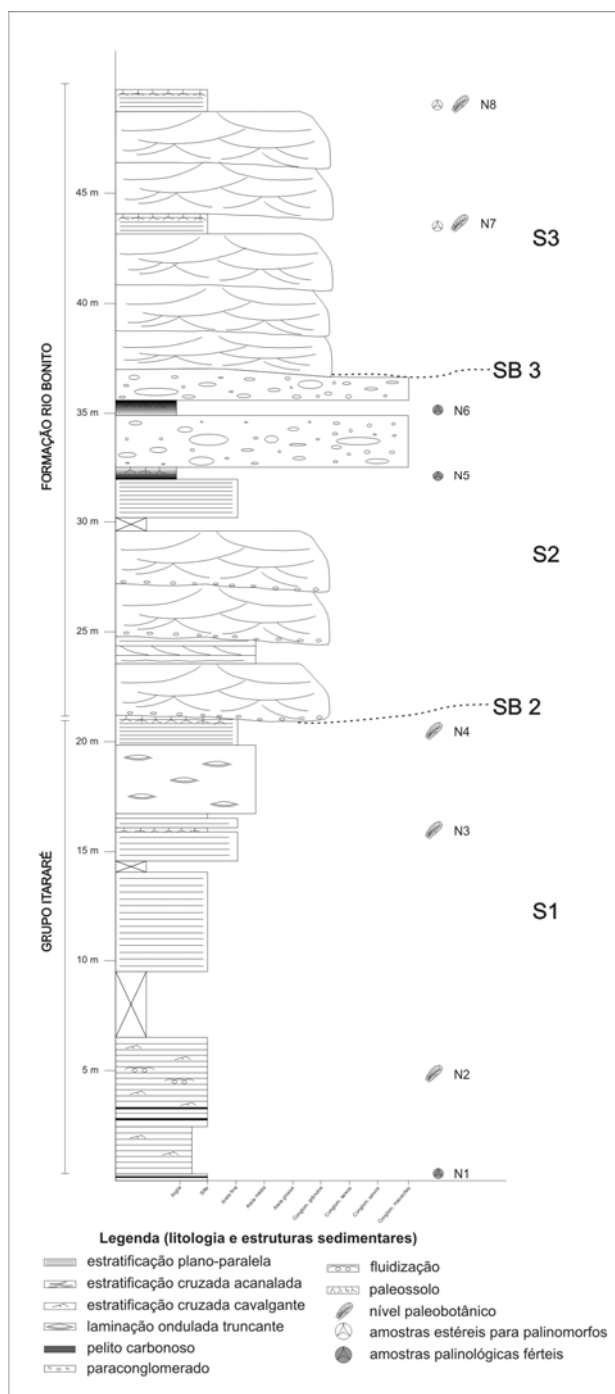


Figura 6: Perfil estratigráfico do Morro do Papaléo (adaptado de Iannuzzi *et al.*, 2003a) indicando os níveis paleobotânico e palinológicos estudados (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; Smaniotto *et al.* 2006).

Faciologicamente, a base da seção aflorante é interpretada como tendo sido depositada em um ambiente lântico, ou seja, de águas calmas do tipo lagunar a lacustre. As camadas sobrejacentes, já pertencentes à Formação Rio Bonito, foram consideradas como depósitos flúvio-deltáicos (“fan deltas”) gerados, aparentemente, muito próximos à linha de costa (ambiente marinho raso). A porção superior da seção teria sido formada sob condições de um ambiente fluvial do tipo entrelaçado. Esta sucessão foi subdividida em três seqüências (da base para o topo, Seqüências I, II, III) por Iannuzzi *et al.* (2003a; 2003b), de acordo com os preceitos utilizados na moderna estratigrafia de seqüências.

5. CONTEXTUALIZAÇÃO BIOESTRATIGRÁFICA

5.1. Fitoestratigrafia

Estudos bioestratigráficos, baseados na distribuição dos macrofósseis vegetais, vêm sendo realizados em sedimentos da Bacia do Paraná desde a década de 1970. No entanto, as assembléias fitofossilíferas da porção permiana mais ao sul da Bacia do Paraná foram abordadas apenas por Rösler (1978), Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), Jasper *et al.* (2003) e Iannuzzi & Souza (2005). Destes, apenas Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) e Jasper *et al.* (2003) constituem esquemas bioestratigráficos formais (Boardman & Iannuzzi, 2008, PIII, Anexo A).

Mesmo sendo mais recente, o zoneamento proposto por Jasper *et al.* (2003) é de difícil aplicação devido (i) à ausência de descrição e caracterização da proposta bioestratigráfica conforme recomendam os códigos estratigráficos brasileiro e internacional (Petri *et al.*, 1986; Murphy & Salvador, 1999) e (ii) comparações com zoneamentos anteriores, tal como Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), proposto para a mesma idade, como já discutido por Iannuzzi *et al.* (2007a). Além disso, o registro pontual de *Botrychiopsis valida* em apenas uma localidade (Afloramento Quitéria) já seria por si só um fator limitante para o uso potencial deste táxon na bioestratigrafia. Adicionalmente, novas contribuições apontaram para a co-ocorrência das duas espécies-guia de *Botrychiopsis* utilizadas por Jasper *et al.* (2003), i.é *B. valida* e *B. plantiana*, na porção superior do Afloramento Quitéria (Iannuzzi & Boardman, 2008), sobrepondo a distribuição estratigráfica das duas subzonas propostas por Jasper *et al.* (2003). Desta forma, a proposta de Jasper *et al.* (2003) não é considerada válida por não seguir nenhum critério ou recomendação

dos códigos estratigráficos, sendo documentada de forma inapropriada e por estar baseada em dados insuficientes para sua confirmação e aplicabilidade.

O fitozoneamento proposto por Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), revisado por Iannuzzi *et al.* (2007a), constitui o esquema atualmente utilizado para esta porção da bacia. Este zoneamento é composto por duas zonas, em ordem estratigráfica ascendente, Zona *Botrychiopsis plantiana* e Zona *Glossopteris/Rhodeopteridium*, sendo a primeira subdividida nas subzonas *Gangamopteris obovata* e *Phyllothea indica*.

Atualmente, a Zona *Botrychiopsis plantiana* é caracterizada pelo aparecimento das primeiras glossopterídeas e pela ocorrência de *Gangamopteris obovata*. A ocorrência desta zona está relacionada aos estratos mais antigos do Permiano no Estado, ou seja, a porção superior do Grupo Itararé (Iannuzzi *et al.*, 2010a). A Subzona *Gangamopteris obovata* seria marcada pela abundância de espécies de *Gangamopteris* associadas a táxons relictuais do Carbonífero, como *Botrychiopsis plantiana* e ausência de vários táxons da subzona sobrejacente, como *Phyllothea indica* e *Glossopteris occidentalis*. A Subzona *Phyllothea indica* é definida principalmente pela disponibilidade e abundância de *Phyllothea australis*, o aparecimento de *Glossopteris occidentalis*, *Scutum* sp. e *Kawizophyllum* sp. e a ocorrência de *Stephanophyllites* sp., *Samaropsis kurtzii* e *Cheyrophyllum specularis*. Além disso, o significativo aumento de folhas de *Glossopteris*, em comparação com a concomitante redução na frequência de folhas de *Gangamopteris* são características adicionais desta subzona (Iannuzzi *et al.*, 2007a).

A Zona de *Glossopteris/Rhodeopteridium* é caracterizada pela ocorrência de *Sphenopteris* cf. *ischanonensis*, *Rhodeopteridium* sp., *Brasilodendrum pedroanum*, *Plumsteadia sennes*, várias espécies de *Glossopteris* (*G. browniana*, *G. mosesii* e *G. obovata* var. *major*), *Arberia minasica*, entre outras formas. Esta zona está associada aos estratos mais jovens do Permiano Inferior do Rio Grande do Sul, correspondendo à Formação Rio Bonito (Iannuzzi *et al.*, 2007a). O significado das superfícies de limites estratigráficos e dos dados palinológicos também foram abordados por Iannuzzi *et al.* (2007a; 2010a).

5.2. Palinoestratigrafia

Diversos esquemas palinoestratigráficos foram propostos para o intervalo Pensilvaniano a Permiano da Bacia do Paraná, dentre os quais o de Daemon & Quadros (1970) é o mais abrangente em termos estratigráficos e geográficos (Souza

& Milani, 2007). Entretanto, atualizações contínuas no conhecimento da palinoflora e da distribuição estratigráfica de seus táxons constituintes permitiram aprimoramentos nas unidades bioestratigráficas, tornando-as mais operacionais. Desta forma, a partir de trabalhos de detalhe, Souza & Marques-Toigo (2003; 2005) e Souza (2006) apresentaram esquemas baseados em zonas de intervalo, caracterizados por limites bem definidos de aparecimento e desaparecimento de táxons selecionados, que refletem o comportamento geral dos esporomorfos na bacia.

De acordo com Souza & Marques-Toigo (2003; 2005) e Souza (2006), a sucessão neopaleozóica da bacia é constituída por quatro zonas de intervalo, nomeadas em ordem estratigráfica ascendente como: zonas *Ahrensia* (*Ahrensia* *cristatus* (ZAc), *Crucisaccites* *monoletus* (ZCm), *Vittatina* *costabilis* (ZVc) e *Lueckia* (*Lueckia* *virkkiae* (ZLv). As ZAc e ZCm caracterizam o intervalo Pensilvaniano da bacia, sendo relativas às porções inferior e média do Grupo Itararé, registradas na porção nordeste da bacia. Nos estados do Rio Grande do Sul e parte de Santa Catarina, somente as duas últimas unidades são reconhecidas, podendo ser identificadas a partir do topo do Grupo Itararé e estendidas às unidades mais superiores do Grupo Passa Dois.

A partir do topo do Grupo Itararé podem ser verificados os níveis basais de ocorrência da ZVc, a qual estende-se até o topo da Formação Rio Bonito. A ZVc tem como limite inferior o primeiro aparecimento das espécies do gênero *Vittatina* (*V. saccata*, *V. subsaccata*, *V. costabilis*, *V. vittifera*), espécies de *Protohaploxylinus* (*P. goraiensis*, *P. limpidus*), *Fusacolpites* *fuscus* e *Illinites* *unicus*; seu limite superior é identificado pelo aparecimento das espécies diagnósticas da ZLv. A ZVc é dividida em duas unidades: Subzona *Protohaploxylinus* *goraiensis* (SzPg), determinada pela amplitude de *P. goraiensis*, *P. limpidus* e *Illinites* *unicus* e Subzona *Hamiapollenites* *karrooensis* (SzHk), definida pela amplitude da espécie epônima e pelo primeiro aparecimento de *Striatopodocarpites* *fuscus* e *Staurosaccites* *cordubensis*. A SzPg inclui as camadas de carvão do RS e SC, anteriormente relacionadas à Subzona *Caheniasaccites* *ovatus* (Marques-Toigo 1988; 1991), considerada como ecofácies (Souza & Marques-Toigo, 2003; 2005; Souza, 2006).

A ZLv ocorre estratigraficamente acima da ZVc, sendo identificada a partir do topo da Formação Rio Bonito e/ ou da base da Formação Palermo, estendendo-se até a base da Formação Rio do Rasto (Membro Serrinha), conforme dados recentes de Neregato (2007) e Neregato *et al.* (2008), os quais registraram assembléias relativamente diversificadas nos depósitos desta última unidade, em níveis

anteriormente considerados estéreis. A ZLv tem como limite inferior o último aparecimento de *Hamiapollenites karrooensis*, *Stellapollenites talchirensis*, *Lundbladispora riobonitensis*, *Potonieisporites novicus*, e primeiro aparecimento de várias espécies de grãos de pólen teniados e poliplicados, como *Lueckisporites* (*L. virkkiae*, *L. stenotaeniatus*, *L. agoulaensis*), *Marsupipollenites striatus*, *Pakhapites fasciolatus*, *Protohaploxypinus* (*P. hartii*, *P. sewardi*, *P. microcorpus*), *Lunatisporites variesectus*, *Alisporites nuthallensis*, *Striatopodocarpites pantii*, *Weylandites lucifer* e *Staurosaccites*, cuja base configura importante *datum* bioestratigráfico para a bacia. Seu limite superior é dado pelo desaparecimento de espécies de *Lueckisporites*.

Recentemente, Mori & Souza (2010) registraram em uma nova localidade em Candiota, Rio Grande do Sul, um intervalo entre o final da ZVc e o início da ZLv em que alguns táxons guias de ambas a zonas ocorrem associados. Características similares também foram observadas por Beri *et al.* (2004) em uma área adjacente da bacia em território uruguaio, como resumido por Souza *et al.* (2007). Devido a estas observações, Mori (2010) sugeriu uma nova subdivisão bioestratigráfica para este setor da bacia.

6. CONTRIBUIÇÕES PALEOBOTÂNICAS E PALINOLÓGICAS PRÉVIAS DAS ÁREAS DE ESTUDO

6.1. Afloramento Quitéria

O Afloramento Quitéria vem sendo amplamente estudado e divulgado cientificamente desde a década 1980, com trabalhos de cunho geológico e paleontológico. Fernandes *et al.* (1989) realizaram o mapeamento geológico inicial da região. Ainda neste mesmo ano, Guerra-Sommer (1989) ilustrou alguns espécimes provenientes da localidade de Quitéria, em trabalho sobre a caracterização da megaflores dos depósitos de carvão da Formação Rio Bonito no Rio Grande do Sul.

Para a região de Quitéria, Piccoli *et al.* (1991) descreveram conjuntos faciográficos com base em dados sedimentológicos (litofácies I a X) e da macro e microflora (biofácies A a J). No intervalo basal do Afloramento Quitéria ocorre a Litofácies VI, interpretada como uma planície de sistema deltaico com ambientes palustres formadores de turfeiras nas áreas baixas. Segundo os autores, quatro biofácies (D–G) foram reconhecidas para a Litofácies VI, contudo, na seção aflorante de Quitéria, provavelmente, ocorre apenas as biofácies E a G. Na Biofácies E

registrou-se uma densa associação de compressões de folhas e frutificações, com predomínio de glossopterídeas, seguidas de restos de esfenófitas estéreis (*Phyllothea*) e férteis. Esta biofácies foi subdividida em E1 e E2, com base em diferentes associações palinológicas. Em E1, dominam os esporos triletes, com grãos de pólen em menor proporção. E2 se mostrou semelhante a E1, mas com maior frequência de grãos de pólen de Gymnospermae e ausência de esporos de Lycopsidea. A Biofácies F apresentou uma microflora constituída, principalmente, por esporos triletes (Pteridophyta). Na Biofácies G, esporos de Pteridophyta ocorrem associados a grãos de pólen de Gymnospermae, em menor proporção.

Nos níveis mais superiores ocorre a litofácies VII, interpretada como depósito gerado pela ação de processos fluviais em planície deltaica. 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. Um horizonte de paleossolo com pequenas raízes marcava o final da sucessão fossilífera (Piccoli *et al.*, 1991).

Mombach & Guerra-Sommer (1990) já haviam informado a presença de estruturas reprodutivas de esfenófitas, mencionadas em Piccoli *et al.* (1991) para os níveis basais do afloramento, que foram associadas à família Gondwanostachyaceae. Guerra-Sommer *et al.* (1995a) descreveram estas estruturas como *Gondwanostachys australis*, recentemente reavaliadas por Boardman & Iannuzzi (2010) como *Giridia quiteriensis*. Ao descreverem *Gondwanostachys australis*, Guerra-Sommer *et al.* (1995a) estabeleceram uma correspondência entre a macro e microflora dos níveis basais do afloramento, pelo que as glossopterídeas, já citadas por Piccoli *et al.* (1991), foram relacionadas à *Glossopteris indica* e *G. browniana*, enquanto as Equisetopsida apareceriam como o segundo grupo em abundância. Na análise da microflora, destacaram como elementos importantes os esporos triletes, juntamente com grãos de pólen monossacados e estriados.

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. Posteriormente, Guerra-

Sommer *et al.* (1995b) citaram a presença adicional de folhas de *Cordaites* sp. e *Glossopteris* sp. para o nível superior de Quitéria.

Jasper & Guerra-Sommer (1998; 1999) analisaram morfologicamente as bases caulinares de Lycopsidea, tanto as preservadas na horizontal quanto as *in situ*, que ocorriam na porção superior de Quitéria, atribuindo-as ao gênero *Brasilodendron*. Os autores interpretaram a associação das bases *in situ* como um importante elemento na definição de modelos deposicionais. Junto a essas Lycopsidea, 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 *Cordaites*. 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 *Cordaites* sp. por Jasper *et al.* (2003; 2005), documentado principalmente nas lentes de areia deste nível fossilífero.

A utilização e integração de novas ferramentas aos dados fossilíferos já existentes tem sido o foco dos trabalhos na localidade nos últimos anos. Jasper *et al.* (2006) associaram os dados paleobotânicos e palinológicos aos de petrografia e faciologia estabelecendo uma relação entre a ciclicidade deposicional e os padrões paleoecológicos. Segundo os autores, a identificação de *Striatopodocarpites fusus* permitiu o posicionamento dos depósitos na Subzona *Hamiapollenites karroensis*, da Zona *Vittatina costabilis* (Souza & Marques-Toigo, 2003; 2005; Souza, 2006). Posteriormente, Guerra-Sommer *et al.* (2008a) aprofundaram os estudos paleoecológicos no intervalo superior da seção no nível com a flora de *roof shale*. Para tanto, os autores introduziram dados petrográficos e análise de material orgânico carbonizado (*charcoal*), estabelecendo um modelo deposicional e sucessional das comunidades vegetais, desde o processo formador de turfeiras até o soterramento da vegetação clástica preservada como flora de *roof shale*. Por fim, Jasper *et al.* (2008b) analisaram anatomicamente os fragmentos de *charcoal*,

evidenciando a presença de incêndios naturais nesta localidade durante o Permiano Inferior.

6.2. Mina do Faxinal

A Mina do Faxinal apresenta uma macroflora diferenciada, uma vez que seus espécimes estão preservados como compressões, ou seja, ainda com a matéria orgânica original, conservando informações importantes (Guerra-Sommer, 1988; 1989; 1992).

Desde a década de 1980, a seção aflorante da Mina do Faxinal vem sendo estudada, com enfoque na análise do carvão, paleobotânica e palinologia. Trabalhos taxonômicos baseados no padrão epidérmico dos espécimes de folha (Guerra-Sommer *et al.*, 1983; Guerra-Sommer, 1988; 1989; 1992; 1995) descreveram diversas morfoespécies do gênero *Glossopteris* (*G. brasiliensis*, *G. similis intermittens*, *G. papillosa*), além de uma Cordaitales (*Rufloria gondwanensis*). Adicionalmente, também foram registradas sementes e frutificações associadas a Glossopteridales e uma espécie de Pteridophyta (Guerra-Sommer, 1988; 1989; 1992). Nestes mesmos trabalhos, uma análise quantitativa é apresentada, mostrando o amplo domínio das Glossopteridales. Guerra-Sommer (1995) e Adami-Rodrigues *et al.* (2004a; 2004b) relataram a ocorrência de interação inseto-planta em folhas de *Glossopteris* e *Cordaites* na Mina do Faxinal. Quando da proposição do zoneamento, Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993) erigiram a Mina do Faxinal como uma das seções de referência da Zona *Glossopteris/Rhodeopteridium*.

Conjuntos palinológicos também foram registrados nesses depósitos (Guerra-Sommer *et al.*, 1984; Dias & Guerra-Sommer, 1994; Cazzulo-Klepzig *et al.*, 2007; 2009). Em uma análise petropalinológica, Guerra-Sommer *et al.* (1984), registraram apenas dois níveis com espécimes identificáveis, caracterizados pelo domínio de esporos perante os grão de pólen, com apenas alguns gêneros mencionados. Guerra-Sommer *et al.* (1984) e Henz (1986) caracterizaram os carvões da Mina do Faxinal quanto a sua origem, indicando um ambiente limno-telmático a telmático para a sua deposição, diferenciando-os dos demais carvões da região sul da Bacia do Paraná.

Guerra-Sommer *et al.* (1991) propuseram uma correlação da Mina do Faxinal com a “Associação *Scheuringipollenites-Caheniasaccites*” de Marques-Toigo & Corrêa da Silva (1984), mas com base na frequência dos táxons da macroflora. Dias & Guerra-Sommer (1994) correlacionaram a macroflora do nível do *tonstein* e a

microflora do carvão subjacente, com inferências paleoclimáticas, paleoecológicas e estratigráficas. A análise apresentou uma forte diferença entre as suas composições (macro e micro), devido a variações paleoecológicas e tafonômicas. As autoras inferiram o topo da Subzona *Caheniasaccites ovatus* e base da Subzona *Hamiapollenites karroensis* (Marques-Toigo, 1988), pela presença de espécies de *Maculatasporites*.

Análises paleoambientais também foram realizadas na Mina do Faxinal. Cazzulo-Klepzig *et al.* (2007), em amostragens ao longo da seção, inferiram uma unidade de paisagem condicionadora para a geração dos carvões desta localidade, indicando um ambiente fluvio-deltaico em uma planície costeira mais restrita, com pouca influência marinha. Analisando os efeitos da deposição da cinza vulcânica sobre a paleoflora, Cazzulo-Klepzig *et al.* (2009) registraram uma diferenciação da microflora ao longo da deposição devido à influência da sedimentação das cinzas vulcânicas, passando de uma associação dominada por Lycopsida, no *tonstein* e no carvão inferior a este, a um domínio de grãos de pólen bissacados, no carvão superior.

Com base nos dados palinológicos anteriores, Guerra-Sommer *et al.* (2006; 2008b) atribuíram a Subzona *Hamiapollenites karroensis* para esta localidade. No entanto, Guerra-Sommer *et al.* (2008c) consideraram que os níveis de *tonstein* Mina de Candiota e da Mina do Faxinal tiveram origem em um mesmo intervalo com atividade vulcânica, assumindo o mesmo posicionamento palinoestratigráfico de Candiota (Guerra-Sommer *et al.*, 2008d) para a Mina de Faxinal, na Subzona *Protohaploxypinus goraiensis*.

6.3. Morro do Papaléo

O Afloramento Morro do Papaléo vem sendo considerado como uma localidade chave dentre os depósitos permianos que ocorrem na região sul da Bacia do Paraná. A localidade apresenta uma grande área exposta, facilitando o acesso aos fósseis vegetais e a observação tridimensional de sua seção sedimentar.

Devido a essas características, o Afloramento Morro do Papaléo tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores ao longo do tempo. Corrêa da Silva & Arrondo (1977) e Corrêa da Silva (1978) e realizaram os primeiros estudos sobre a tafoflora da região de Mariana Pimentel e localmente do Morro do Papaléo. Cazzulo-Klepzig & Guerra-Sommer (1983) realizaram uma ampla descrição do morfogênero

Phyllothea. Burjack *et al.* (1982) descreveram o primeiro perfil paleoecológico da seção sedimentar do afloramento.

Com o grande interesse nos níveis aflorantes de carvão na região do Paleovale Mariana Pimentel, o Afloramento Morro do Papaléo foi abordado em diversos estudos com enfoque sedimentológico e estratigráfico (Pimentel & Godoy, 1983; Paim *et al.*, 1983; Piccoli *et al.*, 1983; Pasqualini *et al.*, 1986; Lavina *et al.*, 1992; Silveira, 2000). Com isto, foi considerado localidade-tipo da Formação Rio Bonito no Rio Grande do Sul por Corrêa da Silva (1978) e como localidade-tipo da Subzona *Phyllothea indica* por Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993).

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; 2003b) aproveitaram a amplitude de informações que esta localidade disponibilizava para reavaliar a fitoestratigrafia da sequência gondvânica do Rio Grande do sul. Desta forma, estes autores evidenciaram, de forma contínua, isto é, ao longo da seção aflorante do Morro do Papaléo a sucessão estratigráfica das três fitozonas vigentes para esta porção da bacia (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993), possibilitando descrever com maior propriedade os parâmetros que governaram as mudanças florísticas e os processos tafonômicos e posicionais envolvidos. Além disso, o Morro do Papaléo apresenta de forma clara e didática a passagem Itararé/Rio Bonito, mostrando como ocorreu a evolução sedimentar dos ambientes pós-glaciais do topo do Grupo Itararé para aqueles geradores de carvões da Formação Rio Bonito (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; Iannuzzi *et al.*, 2010a).

A partir destas novas abordagens, muitos trabalhos têm sido realizados na localidade. Adami-Rodrigues *et al.* (2004a; 2004b) e Pinheiro *et al.* (submetido) analisaram as interações inseto-planta em folhas de *Glossopteris* e *Cordaites*. 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 Sphenophyta (Roesler *et al.*, 2008).

Smaniotta *et al.* (2006), analisando os conjuntos palinológicos ao longo da seção do Morro do Papaléo, atribuiu a Subzona *Protohaploxypinus goraiensis* para todo o intervalo, ou seja, desde os níveis mais basais, representativos do Grupo Itararé, sendo estendido por todo o intervalo da Formação Rio Bonito. Desta forma, os autores evidenciaram que enquanto palinologicamente apenas uma Subzona

(SzPg) está registrada ao longo da seção, os dados paleobotânicos indicam a ocorrência das duas fitozonas (zonas *Botrychiopsis plantiana* e *Glossopteris/Rhodeopteridium*), demonstrando a possibilidade de que, na realidade, as fitozonas sejam “ecozonas” controladas faciologicamente.

Esse conjunto atualizado de dados taxonômicos, sejam estes paleobotânicos ou palinológicos, levou à análises mais complexas. Inferências preliminares da tafonomia e paleoecologia dos diversos níveis com macrofósseis vegetais do Morro do Papaléo foram levantadas (Iannuzzi *et al.*, 2007b). Souza & Iannuzzi (2011) discutiram os padrões ecológicos sobre a dispersão das sementes permianas, utilizando principalmente os espécimes desta localidade. Além disto, junto a dados de outras localidades da região, permitiu 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), e ampliando a possibilidade de correlação com outras localidade típicas da Flora *Glossopteris* ao longo de toda a bacia (Iannuzzi *et al.*, 2010b).

Por fim, o amplo conjunto de dados taxonômicos e a integração de diversas ferramentas (como paleobotânica, palinologia e estratigrafia de sequência) possibilitaram um amplo entendimento dos processos envolvido durante a deposição dos sedimentos os quais são registrados na região do Morro do Papaléo (Iannuzzi *et al.*, 2010a, PII, Cap. 5).

7. ANÁLISE INTEGRATIVA DOS RESULTADOS

7.1. Considerações gerais

Os macrofósseis vegetais registrados na Bacia do Paraná vêm sendo utilizados em inferências bioestratigráficas desde o início do século XX (White, 1908), ainda que tenham sido utilizados apenas para correlações generalizadas com as ocorrências da “Flora *Glossopteris*” através do Gondwana. Alguns esquemas fitoestratigráficos já foram propostos para a Bacia do Paraná e, como discutido anteriormente, para a porção sul da bacia, segue vigente o esquema de Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), mesmo com as modificações advindas do acréscimo de novos taxóns e/ou mudanças nas amplitudes estratigráficas dos seus táxons-guia (revisão em Iannuzzi *et al.*, 2007a). Cabe ressaltar que a base de dados para a proposição de um esquema bioestratigráfico e, por conseqüência, para a

análise bioestratigráfica de uma localidade qualquer é um levantamento taxonômico de detalhe, capaz de gerar um arcabouço consistente da associação preservada em determinado nível estratigráfico.

Muitas vezes, os resultados paleobotânicos por si só não são muito precisos do ponto de vista bioestratigráfico, seja devido a escassez de macrofósseis vegetais em determinado estrato ou intervalo, a falta de coletas sistemáticas ao longo da porção aflorante da bacia ou até mesmo pela carência de trabalhos taxonômicos (Boardman & Iannuzzi, 2008, PIII, Anexo A). Tal dificuldade tem levado ao uso de outras ferramentas, como a palinologia, a estratigrafia de sequência e mesmo a datação radiométrica (Rohn & Rosler, 2000; Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2010b; Iannuzzi & Souza, 2005; Guerra-Sommer *et al.*, 2008a; 2008b; 2008c; Holz *et al.*, 2010), para o estabelecimento de um melhor refinamento cronoestratigráfico destes depósitos.

Algumas localidades relacionadas aos depósitos de carvão da porção sul da bacia foram intensamente estudadas. No entanto, muitas vezes os resultados foram apresentados de forma independente, ou seja, sem um histórico ou correlação com os resultados prévios da referida localidade, gerando conflito no entendimento e excesso de classificações para um mesmo táxon.

Para integrar os dados paleobotânicos e palinológicos com inferências baseadas no modelo de estratigrafia de sequências estabelecido para a porção sul da bacia nas localidades de interesse, foi necessário atualizar o arcabouço taxonômico existente para as mesmas. Desta forma, uma revisão da macroflora de cada localidade foi realizada juntamente com o processamento e análise de novos níveis palinológicos, visando a construção de um conjunto confiável de dados para embasar análises bioestratigráficas posteriores.

7.2. Paleobotânica e Palinologia

7.2.1. Afloramento Quitéria

O Afloramento Quitéria, amplamente estudado nos últimos 20 anos, foi a localidade que precisou de maior atenção em termos taxonômicos. Nos últimos anos, diversas novas espécies foram descritas, reavaliadas ou tiveram sua presença comunicada para o Afloramento Quitéria, tais como: *Cori cladus quiteriensis*, um tipo de conífera erigida a partir das estruturas férteis conectadas (Jasper *et al.*, 2005); *Lycopodites riograndensis*, uma licófita herbácea com estruturas reprodutivas preservadas (Salvi *et al.*, 2008); os espécimes descritos como *Rubidgea* para o Rio

Grande do Sul (Tybusch & Iannuzzi, 2008), como folhas de *Gangamopteris*, tendo sido incluídos em *G. buriadica* o material da porção superior de Quitéria, bem como aquele descrito como *Cordaites* sp. (Jasper *et al.*, 2003; 2005).

Além disso, Boardman *et al.* (2006, P II, Cap. 1) comunicaram a presença de *Glossopteris browniana* para o nível Quitéria Topo, que provavelmente corresponde à *Glossopteris* sp. mencionada por Jasper *et al.* (2003). Iannuzzi & Boardman (2008, PIII, Anexo B) relataram a co-ocorrência de duas espécies de *Botrychiopsis* (*i.e.*, *B. plantiana* e *B. valida*) no nível Quitéria Topo (Tabela 3), as quais foram consideradas como táxons-guia no zoneamento de Jasper *et al.* (2003). Nesta proposta, *B. plantiana* ocorreria em Quitéria Base e nas localidades de Faxinal e na base no Morro do Papaléo, ambas em Mariana Pimentel, marcando a Zona *Botrychiopsis plantiana*, enquanto a presença de *B. valida* estaria restrita a Quitéria Topo, constituindo a Zona *Botrychiopsis valida*.

Por fim, no levantamento das amostras do Afloramento Bainha, SC, foram encontrados espécimes inéditos referentes a estruturas reprodutivas de esfenófito. Ao analisar estes espécimes, identificou-se o gênero indiano *Giridia* (Pant *et al.*, 1981), o que permitiu correlacionar este material com aquele descrito como *Gondwanostachys australis* por Guerra-Sommer *et al.* (1995a), presente em Quitéria Base. A classificação desta estrutura fértil no gênero *Gondwanostachys* já vinha sendo questionada (Boardman, 2006; Cúneo & Escapa, 2006), sendo que Cúneo & Escapa (2006) chegaram até mesmo a associá-la aos gêneros *Giridia* e *Cruciaetheca* ou mesmo a um novo gênero. Desta forma, Boardman & Iannuzzi (2010, P II, Cap. 2) além de registrarem a presença de *Giridia indica* Pant, Nautiyal & Misra 1981, uma espécie exclusiva da Índia, no Afloramento Bainha, descreveram uma nova espécie, *Giridia quiteriensis*, para Quitéria Base e para o Afloramento Bainha, realocando assim o material descrito como *Gondwanostachys australis* e classificando material inédito do Afloramento Bainha.

No entanto, em poucos casos os autores forneceram um histórico de como estes mesmos espécimes foram denominados nos trabalhos anteriores, o que poderia facilmente gerar uma multiplicação de táxons quando utilizado apenas os dados presentes na literatura. Desta forma, elaborou-se a revisão detalhada dos macrofósseis do Afloramento Quitéria para que seja possível associar a antiga denominação de determinado táxon com a sua atual classificação (ver Quadro 1).

Tabela 3 - Correlação dos macrofósseis vegetais registrados no Afloramento Quitéria, na Mina do Faxinal e no Afloramento Morro do Papaléo.

Associações paleobotânicas	Quitéria		Mina do Faxinal	Morro do Papaléo				
	Fm. Rio Bonito		Fm. Rio Bonito	Gr. Itararé		Fm. Rio Bonito		
	Quitéria Base	Quitéria Topo	Tonstein	N2	N3	N4	N7	N8
LYCOPSIDA								
<i>Brasilodendron pedroanum</i> (Carruthers) Chaloner, Leistikow & Hill 1979		X					X	X
<i>Brasilodendron</i> sp.	X							
<i>Lycopodites riograndensis</i> Salvi, Jasper, Ricardi-Branco, Bernardes-de-Oliveira & Guerra-Sommer 2008		X						
<i>Cyclodendron</i> sp.							X	X
SPHENOPSIDA								
<i>Giridia quiteriensis</i> Boardman & Iannuzzi 2010	X							
<i>Phyllothea australis</i> (Brongniart) Townrow 1955	X					X		
<i>Phyllothea brevifolia</i> Roesler, Iannuzzi, Boardman 2008						X		
<i>Paracalamites australis</i> Rigby 1966	X					X		
<i>Stephanophyllites</i> sp.						X		
FILICOPSIDA								
<i>Asterotheca</i> sp.								X
<i>Neomariopteris</i> sp.								X
<i>Pecopteris</i> sp.								X
<i>Sphenopteris</i> cf. <i>S. ischanovensis</i> Zallesky 1934			X					
<i>Sphenopteris</i> sp.								X
<i>Rhodeopteridium</i> sp.	X	X						
PTERIDOPHYLLA								
<i>Botrychiopsis plantiana</i> (Carruthers) Archangelsky & Arrondo 1971		X		X				
<i>Botrychiopsis valida</i> Archangelsky & Arrondo 1971		X						
<i>Chiropteris</i> sp.					X			
CORDAITALES								
<i>Rufforia gondwanensis</i> Guerra Sommer 1989*			X					
<i>Cordaite hislopii</i> (Bunbury) Seward & Leslie 1908			X	X	X	X	X	X
<i>Cordaite</i> sp.			X					
<i>Kawizophyllum</i> sp.						X	X	X
GLOSSOPTERIDALES								
<i>Arberia minasica</i> (White) emend. Rigby 1972	X							
<i>Arberia</i> sp.								X
<i>Gangamopteris angustifolia</i> McCoy 1875				X				
<i>Gangamopteris buriadica</i> Feistmantel 1879		X				X		
<i>Gangamopteris obovata</i> (Carruthers) White 1908				X	X	X		X
<i>Gangamopteris obovata</i> var. <i>major</i> (Feistmantel) Dolianiti 1954							X	X
<i>Gangamopteris revoluta</i> Tybusch & Iannuzzi 2008		X				X		X
<i>Gangamopteris</i> spp.		X		X		X		
<i>Glossopteris browniana</i> Brongniart 1828		X						
<i>Glossopteris communis</i> Feistmantel 1876	X		X	X		X	X	X
<i>Glossopteris indica</i> Schimper 1869			X	X		X		X
<i>Glossopteris occidentalis</i> (White) Tybusch & Iannuzzi 2010			X	X		X	X	X
<i>Glossopteris leptoneura</i> Bunbury 1861			X	X				
<i>Glossopteris similis intermittens</i> Guerra-Sommer 1992*			X	X				
<i>Glossopteris papillosa</i> Guerra-Sommer 1992*			X	X				
<i>Glossopteris brasiliensis</i> Guerra-Sommer 1992*			X	X				
<i>Glossopteris</i> spp.	X		X	X				
GINKGOALES								
<i>Cheirophyllum speculare</i> Césari & Cúneo 1989						X		
? <i>Dicranophyllum</i> sp.						X		
<i>Ginkgophytopsis</i> sp.							X	X
CONIFERALES								
<i>Cori cladus quiteriensis</i> Jasper, Ricardi-Branco & Guerra-Sommer 2005		X						
INCERTAE SEDIS								
<i>Cordaicarpus truncata</i> Souza & Iannuzzi 2010				X				
<i>Cordaicarpus</i> aff. <i>C. brasiliensis</i> Bernardes-de-Oliveira, Castro-Fernandes, Tewari & Ricardi-Branco 2007						X	X	X
<i>Cordaicarpus</i> aff. <i>C. famatinensis</i> Gutierrez, Ganuza, Morel & Arrondo 1992						X		
<i>Cordaicarpus</i> spp.	X	X	X	X		X	X	X
<i>Samaropsis gigas</i> Souza & Iannuzzi 2007						X	X	X
<i>Samaropsis kurtzii</i> Leguizamón 1971						X		
<i>Samaropsis</i> sp. aff. <i>S. millaniana</i> Oliveira & Pontes 1976								X
<i>Samaropsis</i> sp. aff. <i>S. rigbyi</i> Millan 1977						X	X	X
<i>Samaropsis</i> spp.				X		X	X	X
<i>Plumsteadia sennes</i> Rigby 1963			X					

Interpretação taxonômica adotada neste trabalho	Registros prévios	Ocorrência
<i>Brasilodendron pedroanum</i> (Carruthers) Chaloner, Leistikow & Hill 1979	Licofitas arborescente (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 36, pl. 5; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995b, pl.3); <i>Brasilodendrum</i> (Jasper & Guerra-Sommer, 1998, pg. 51; 1999, pg. 53, pl. 3 e 4; Jasper <i>et al.</i> , 2005, pg. 158); <i>Brasilodendrum pedroanum</i> (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 20 e 21, fig. 9, 10 e 11, tab. 4; Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg. 519 e 529; 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; 2008a, pg. 6, fig. 9; 2008b, pg. 439).	Quitéria Base Quitéria Topo
<i>Lycopodites riograndensis</i> Salvi <i>et al.</i> 2008	<i>Lycopodites</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 20, fig. 13, tab. 4); <i>Lycopodites riograndensis</i> (Salvi <i>et al.</i> , 2008, pg. 558, fig. 3; Jasper <i>et al.</i> , 2008a, pg. 7; 2008b, pg. 439).	Quitéria Topo
<i>Giridia quiteriensis</i> Boardman & Iannuzzi 2010	<i>Gondwanostachiaceae?</i> (Mombach & Guerra-Sommer, 1990, pl. 2); <i>Gondwanostachys</i> (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 36); <i>Gondwanostachys australis</i> (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg.68, pl. 1 e 2); <i>Giridia quiteriensis</i> (Boardman & Iannuzzi 2010, pg. 8, fig. 4 e 5).	Quitéria Base
<i>Phyllothea australis</i> (Brongniart) Townrow 1955	<i>Phyllothea indica</i> (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 36, pl. 4; Mombach & Guerra-Sommer, 1990, pl. 1); <i>Phyllothea australis</i> (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 68 e 70).	Quitéria Base
<i>Paracalamites australis</i> Rigby 1966	<i>Paracalamites</i> sp. (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 68 e 70).	Quitéria Base
Fronde de Rhodopterideas	<i>Rhodea</i> sp. (Piccoli <i>et al.</i> 1991, pg. 36, pl. 4; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 66); frondes de Rhodopterid (Jasper <i>et al.</i> , 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 20, fig. 13, tab. 4).	Quitéria Base Quitéria Topo
<i>Botrychiopsis valida</i> Archangelsky & Arrondo 1971	<i>Botrychiopsis</i> sp. (Jasper & Guerra-Sommer, 1999, pl. 2); <i>Botrychiopsis valida</i> (Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg. 524, fig. 5 e 6; 2005, pg. 158; 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; 2008a, pg. 5 e 6, fig. 5; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 20, fig. 13, tab. 4).	Quitéria Topo
<i>Botrychiopsis plantiana</i> (Carruthers) Archangelsky & Arrondo 1971	<i>Botrychiopsis plantiana</i> (Iannuzzi & Boardman, 2008; Jasper <i>et al.</i> , 2008b, pg. 439).	Quitéria Topo
<i>Arberia minnasica</i> (White) Rigby 1972	<i>Arberia minnasica</i> (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 35, pl. 4; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 66).	Quitéria Base
<i>Cordaicarpus</i> sp.	<i>Cordaicarpus</i> sp. (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 35)	Quitéria Base Quitéria Topo
<i>Gangamopteris buriadica</i> Feistmantel 1879	<i>Rubidgea?</i> (Jasper & Guerra-Sommer, 1999, pl. 1); <i>?Rubidgea</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2008a, pg. 6, fig. 10); <i>Rubidgea</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg. 519 e 529; 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; 2008b, pg. 439; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 22, fig. 14, tab. 4); <i>?Cordaites</i> sp. (2008a, pg. 7, fig. 11); <i>Cordaites</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg. 519 e 529; 2005, pg. 158; 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; 2008b, pg. 439; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 22, fig. 15, tab. 4); <i>Gangamopteris buriadica</i> (Tybusch & Iannuzzi, 2008, pg. 79, fig. 4 e 5).	Quitéria Topo
<i>Gangamopteris revoluta</i> Tybusch & Iannuzzi 2008	<i>Gangamopteris revoluta</i> (este trabalho).	Quitéria Topo
<i>Glossopteris communis</i> Feistmantel 1876	<i>Glossopteris</i> sp. e <i>Glossopteris browniana</i> (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 35, pl. 4); <i>Glossopteris browniana</i> e <i>Glossopteris indica</i> (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 66); <i>Glossopteris</i> sp. (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995b, pl. 1).	Quitéria Base
<i>Glossopteris browniana</i> Brongniart 1828	<i>Glossopteris</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg.519); <i>Glossopteris browniana</i> (Boardman <i>et al.</i> , 2006, pg. 13, fig. 3).	Quitéria Topo
<i>Coricladus quiteriensis</i> Jasper, Ricardi-Branco & Guerra-Sommer 2005	<i>Buriadia</i> sp. (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 36, pl. 5); <i>Coricladus quiteriensis</i> (Jasper <i>et al.</i> , 2005, pg. 160, figs. 2 - 7; 2006, pg. 284, fig. 6 e tab. 1; 2008a, pg. 6 e figs. 1 e 6; 2008b, pg. 439; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 12, fig. 14, tab. 4).	Quitéria Topo

Quadro 1: Lista de táxons de macrofósseis vegetais registrados no Afloramento Quitéria com o histórico de cada táxon nos trabalhos anteriores e seu posicionamento estratigráfico.

A partir da revisão paleobotânica foi possível confirmar a presença de 15 morfoespécies, algumas folhas de *Glossopteridales* classificadas apenas em nível genérico e algumas sementes indeterminadas (Boardman *et al.*, submetido a, P II, Cap. 3). Além disso, foi observada a ocorrência de *Brasilodendron* em ambos os níveis analisados, enquanto os espécimes assinalados originalmente como *Glossopteris indica* e *G. browniana* para o nível Quitéria Base, por Guerra-Sommer *et al.* (1995b), foram considerados como correspondentes às espécies *Glossopteris communnis* e *Glossopteris* sp.. Na Tabela 3 é apresentada a listagem completa dos táxons paleobotânicos registrados em Quitéria Base e Quitéria Topo.

Os dois conjuntos de microfósseis vegetais registrados no Afloramento Quitéria apresentaram um conteúdo típico da “Flora *Glossopteris*” em associações relacionadas aos depósitos de carvões no Gondwana, apresentando restos de Glossopteridales (*Glossopteris* e *Gangamopteris*), Lycopsida (*Brasilodendron*) e Sphenopsida (*Giridia*, *Phyllothea* e *Paracalamites*), entre outros. Algumas diferenças são evidentes entre os níveis. Quitéria Base apresentou o domínio do grupo das Sphenopsida, seguido pelas Glossopteridales. Este nível pode ser considerado com uma associação parautóctone, devido à ocorrência expressiva de raízes (paleossolos) e grande quantidade de estruturas reprodutivas, tanto de Glossopteridales (*Arberia*) quanto de Sphenopsida (*Giridia*), estas últimas em conexão com as partes vegetativas, indicando pouco transporte dos restos.

Quitéria Topo, nível amplamente estudado, é considerado como uma associação autóctone-parautóctone por Guerra-Sommer *et al.* (2008a), com bases caulinares de *Brasilodendron pedroanum* preservadas em posição de vida (elementos autóctones). Ocorrem ainda, entre essas bases caulinares, de forma parautóctone, os demais táxons sobrepostos a uma camada de carvão, compondo assim uma típica flora *roof-shale* (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000; Guerra-Sommer *et al.*, 2008a). Neste nível, dominam as bases de Lycopsida, seguido pelo ramos de Coniferales (*Coricladus quiteriensis*) e as folhas de Glossopteridales. É notória a ausência do grupo das Sphenopsida neste nível em comparação a sua abundância no nível subjacente.

Piccoli *et al.* (1991) e Jasper *et al.* (2006) já haviam realizado estudos palinológicos na região de Quitéria e neste afloramento. No entanto, enquanto Piccoli *et al.* (1991) mostraram apenas os táxons selecionados ao longo das descrições das fácies e nas ilustrações, enquanto Jasper *et al.* (2006) apresentaram os diversos níveis amostrados agrupados em fácies, não permitindo a comparação. Desta forma, sem a descrição completa dos conjuntos palinológicos registrados anteriormente (Piccoli *et al.*, 1991; Jasper *et al.*, 2006) e como as lâminas analisadas por esses autores não foram encontradas na coleção da Palinoteca do DPE-IGeo-UFRGS, optou-se por uma nova coleta e novo processamento.

Deste modo, Boardman *et al.* (submetido, P II, Cap. 3) apresentam a análise de seis novos conjuntos palinológicos, visando compor uma listagem completa dos palinomorfos registrados ao longo da seção do Afloramento Quitéria (Figura 4). A Tabela 4 apresenta a listagem completa dos palinomorfos registrados ao longo da seção do Afloramento Quitéria (níveis férteis Q4, Q6 a Q9 e Q12).

Tabela 4 – Correlação dos palinóforos registrados no Afloramento Quitéria (Q), na Mina do Faxinal (MF) e no Afloramento Morro do Papaléo (*Smaniotto *et al.*, 2006).

Associações palinológicas	Afloramento Quitéria						Mina do Faxinal					Morro do Papaléo*		
	Fm. Rio Bonito						Fm. Rio Bonito					Itararé	Fm. Rio Bonito	
	Q4	Q6	Q7	Q8	Q9	Q12	MF2	MF5	MF6	MF10	MF11	N1	N5	N6
ESPOROS														
<i>Acanthotriletes</i> spp.	X	X	X	X	X	X								
<i>Ahrensia</i> spp.	X	X	X	X	X	X								
<i>Apiculiretusispora sparsa</i> Menendez & Azcuy 1971	X		X		X	X	X	X						
<i>Brevitriletes cornutus</i> (Balme & Hennelly) Backhouse 1991	X	X				X								
<i>Brevitriletes irregularis</i> (Nahuys, Alpern & Ybert) Césari, Archangelsky & Seoane 1995	X	X	X	X	X	X		X						
<i>Brevitriletes levis</i> (Balme & Hennelly) Bharadwaj & Salujha 1964												X	X	X
<i>Calamospora hartungiana</i> (Schopf) Schopf, Wilson & Bentall 1944												X	X	X
<i>Calamospora liquida</i> Kosanke 1950											X			
<i>Calamospora plicata</i> (Luber & Valts) Hart 1965								X						
<i>Calamospora sinuosa</i> Leschik 1955							X	X						
<i>Calamospora</i> spp.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
<i>Cirratriletes</i> spp.												X		
<i>Converrucosisporites confluens</i> (Archangelsky & Gamarro) Playford & Dino 2002	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			
<i>Converrucosisporites micronodosus</i> (Balme & Hennelly) Playford & Dino 2002	X		X	X										
<i>Convolutispora candiotensis</i> Ybert 1975	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cristatisporites irradiatus</i> (Dias-Fabrizio) Picarelli & Dias-Fabrizio 1990												X		
<i>Cristatisporites microvacuolatus</i> (Dias-Fabrizio) Picarelli & Dias-Fabrizio 1990												X		
<i>Cristatisporites morungavensis</i> (Dias-Fabrizio) Picarelli & Dias-Fabrizio 1990												X		
<i>Cristatisporites</i> spp.								X			X			
<i>Cyclogranisporites firmus</i> Jones & Truswell 1992							X		X					
<i>Cyclogranisporites gondwanensis</i> Bharadwaj & Salujha 1963							X	X	X	X	X			
<i>Cyclogranisporites parvigranulosus</i> Ybert 1975							X	X	X	X	X			
<i>Cyclogranisporites</i> spp.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Granulatisporites austroamericanus</i> Archangelsky & Gamarro 1979	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Granulatisporites triconvexus</i> Staplin 1960												X		
<i>Horriditriletes gondwanensis</i> (Tiwari & Moiz) Foster 1975	X	X		X	X				X			X	X	X
<i>Horriditriletes ramosus</i> (Balme & Hennelly) Bharadwaj & Salujha 1964	X	X					X	X	X			X	X	X
<i>Horriditriletes superbus</i> (Foster) Césari, Archangelsky & Seoane 1995	X			X			X	X	X			X	X	
<i>Horriditriletes uruguayensis</i> (Marques-Toigo) Archangelsky & Gamarro 1979	X	X	X	X	X	X		X	X			X	X	
<i>Horriditriletes curvibaculosus</i> Bharadwaj & Salujha 1964								X						
<i>Horriditriletes</i> spp.	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
<i>Kraeuselisporites spinosus</i> Jansonius 1962		X	X											
<i>Kraeuselisporites volkheimerii</i> Azcuy 1975												X	X	X
<i>Kraeuselisporites</i> spp.											X			
<i>Laevigatosporites vulgaris</i> Ibrahim 1933	X	X		X		X		X						
<i>Leiotriletes virkkii</i> Tiwari 1965	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
<i>Lophotriletes</i> spp.	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
<i>Lundbladispota braziliensis</i> (Pant & Srivastava) Marques-Toigo & Picarelli 1984	X	X	X	X	X	X		X			X	X	X	X
<i>Lundbladispota riobonitensis</i> Marques-Toigo & Picarelli 1984	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X
<i>Murospora bicingulata</i> Ybert 1975							X		X					
<i>Punctatisporites gretensis</i> Balme & Hennelly 1956	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Reticulatisporites pseudopalliatius</i> Staplin 1960												X		
<i>Retusotriletes baculiferous</i> Ybert 1975	X		X		X									
<i>Retusotriletes golatensis</i> Staplin 1960	X	X	X											
<i>Retusotriletes nigrillus</i> (Luber) Foster 1979						X								
<i>Retusotriletes simplex</i> Naumova 1953		X		X			X		X	X				
<i>Vallatisporites ciliaris</i> (Lüder) Sullivan 1964												X		
<i>Vallatisporites splendens</i> Staplin & Jansonius 1964												X		
<i>Vallatisporites</i> spp.								X		X				
<i>Verrucosisporites</i> spp.		X	X	X	X	X								
GRÃOS DE PÓLEN														
<i>Alisporites</i> spp.		X	X	X		X		X						
<i>Caheniasaccites cf. elongatus</i> Bose & Kar 1966		X												
<i>Caheniasaccites flavatus</i> Bose & Kar 1966		X		X		X	X	X			X			
<i>Caheniasaccites</i> spp.							X	X						
<i>Cannanoropollis densus</i> (Lele) Bose & Maheshwari 1968		X												
<i>Cannanoropollis janakii</i> Potonié & Sah 1960		X									X	X	X	X
<i>Cycadopites</i> spp.												X		
<i>Costapollenites ellipticus</i> Tschudy & Kosanke 1956		X												
<i>Divarisaccus stringoplicatus</i> Ottone 1991		X										X		
<i>Fusacolpites fusus</i> Bose & Kar 1966				X										
<i>Fusacolpites ovatus</i> Bose & Kar 1966						X		X						
<i>Hamiapollenites cf. fusiformis</i> Marques-Toigo 1974		X					X							
<i>Illinites unicus</i> (Kosanke) Jansonius & Hills 1976							X	X				X	X	X
<i>Limitisporites</i> spp.		X	X	X	X	X	X	X				X		
<i>Lueckisporites virkkiae</i> (Potonié & Klaus) Clarke 1965							X							
<i>Peppersites</i> spp.												X		
<i>Plicatipollenites gondwanensis</i> (Balme & Hennelly) Lele 1964		X												
<i>Plicatipollenites malabarensis</i> (Potonié & Sah) Foster 1975		X									X			
<i>Potonieisporites barrelis</i> Tiwari 1965			X											
<i>Potonieisporites densus</i> Srivastava 1970											X			
<i>Potonieisporites cf. neglectus</i> Potonié & Lele 1961		X												
<i>Potonieisporites congoensis</i> Bose & Maheshwari 1968		X												
<i>Potonieisporites methoris</i> (Hart) Foster 1979		X												
<i>Potonieisporites marleniae</i> Playford & Dino 2000		X												
<i>Potonieisporites novicus</i> (Bhardwaj) Poort & Veld 1997			X											
<i>Potonieisporites</i> spp.		X	X											
<i>Protohaploxypinus amplius</i> (Balme & Hennelly) Hart 1964	X	X												
<i>Protohaploxypinus goraensis</i> (Potonié & Lele) Hart 1964								X			X	X	X	X
<i>Protohaploxypinus limpidus</i> (Balme & Hennelly) Balme & Playford 1967		X						X			X	X	X	X
<i>Protohaploxypinus</i> spp.				X		X				X	X			
<i>Scheuringipollenites minimus</i> (Burjack) Dias-Fabrizio 1981							X			X				
<i>Scheuringipollenites medius</i> (Burjack) Dias-Fabrizio 1981		X	X			X	X	X						
<i>Stellapollenites talchirensis</i> Lele 1965		X				X	X	X						
<i>Striatoabietes</i> spp.			X											
<i>Striatopodocarpites cancellatus</i> (Balme & Hennelly) Hart 1964											X			
<i>Striatopodocarpites pantii</i> (Jansonius) Balme 1970		X												
<i>Striomonosaccites</i> spp.												X		
<i>Vesicaspora</i> spp.	X	X	X				X	X	X		X	X	X	X
<i>Vittatina corrugata</i> Marques-Toigo 1974		X												
<i>Vittatina costabilis</i> Wilson 1962		X	X									X	X	X
<i>Vittatina saccata</i> (Hart) Playford & Dino 2000		X		X										
<i>Vittatina subsaccata</i> Samoilovich 1953		X						X						
<i>Vittatina vittifera</i> (Lüder & Valtz) Samoilovich 1953			X									X		
<i>Vittatina</i> spp.		X				X	X				X			
cf. <i>Weylandites</i>					X									
Poliplicados indeterminados				X	X	X	X	X			X			
OUTROS (elementos algálicos e fungos)														
<i>Botryococcus braunii</i> Kutzing 1849	X					X								
<i>Brazileia helby</i> forma <i>gregata</i> Foster 1979												X		
<i>Brazileia scissa</i> (Balme & Hennelly) Foster 1975	X	X		X		X	X	X				X		
<i>Leiosphaeridia</i> spp.												X		
<i>Maculatasporites gondwanensis</i> Tiwari 1964											X			
<i>Maculatasporites minimus</i> Segroves 1967														
<i>Portalites gondwanensis</i> Nahuys, Alpern & Ybert 1968	X	X	X	X	X									
<i>Quadrisporites horridus</i> (Hennelly) Potonié & Lele 1961												X	X	
<i>Tetraporina</i> spp.	X	X				X						X	X	X

De forma geral, os conjuntos apresentam um domínio de esporos perante os grãos de pólen, os quais são raros e freqüentemente mal preservados. Esporos associados a diferentes grupos vegetais foram documentados, tais como representantes de Lycopsidea, (*Lundbladispora*), Sphenopsida (*Calamospora* e *Laevigatosporites*) e Filicopsida (*Granulatisporites*, *Convolutispora*, *Horriditriletes* e *Punctatisporites*). Grãos de pólen relacionados a dois grupos de Gymnospermopsida foram registrados: Glossopteridales (*Vittatina*, *Fusacolpites* e *Protohaploxylinus*) e Coniferales (*Caheniasaccites*, *Cannanoropollis*, *Potonieisporites* e *Hamiapollenites*).

Algumas peculiaridades foram percebidas entre os níveis analisados. O gênero *Lundbladispora* domina nos níveis Q4, Q6, Q7 e Q9 e junto com *Horriditriletes*, dominam em Q8. No nível mais superior, Q12, a presença de *Lundbladispora* se reduz consideravelmente, onde *Granulatisporites* passa a dominar. *Portalites* ocorre em todos os níveis dominados por *Lundbladispora*, ausente em Q12, com sua abundância relacionada diretamente à deste gênero. Tétrades de *Lundbladispora* estão presentes nos cinco níveis em que o gênero predomina, ocorrendo mais expressivamente em Q4, Q7 e Q9, níveis referentes aos pelitos carbonosos. Grãos de pólen são registrados em baixa quantidade, sendo ligeiramente mais expressivo em Q6. A composição microflorística registrada nos seis níveis analisados sugere, para todos os níveis, ambientes relacionados à formação de turfeiras devido ao predomínio das plantas esporófitas.

A composição dos esporomorfos aqui registrados permitiu associar todos os níveis à “Associação *Lundbladispora-Punctatisporites-Portalites*” de Marques-Toigo & Corrêa da Silva (1984). Os níveis Q4, Q6, Q7 e Q9 são típicos representantes desta associação, com frequência de *Lundbladispora* superior a 50%. No nível Q8, mesmo com a queda na frequência de *Lundbladispora*, o gênero ainda se mantém dominante. Em Q12, a rara presença de *Lundbladispora*, a ausência de *Vallatisporites* e *Cristatisporites* e o domínio de esporos perante os grãos de pólen, principalmente *Granulatisporites*, *Cyclogranisporites* e *Punctatisporites*, permitem também correlacionar estes níveis a esta associação.

Na correlação entre os dados paleobotânicos e palinológicos, Quitéria Base, com predomínio do grupo Sphenophyta, apresentou menor semelhança aos conjuntos palinológicos, do que de Quitéria Topo (onde as bases de Lycopsidea são dominantes). Essas diferenças entre os registros paleobotânicos e palinológicos encontrados nos níveis estudados, tais como na, proporção esporo/grãos de pólen e no grupo dominante, podem ser explicadas por uma pequena variação lateral do

ambiente formador de turfeira, refletida nas pequenas variações na litologia constatadas, ou seja, são faciologicamente controladas.

7.2.2. Mina do Faxinal

A Mina do Faxinal vem sendo estudada desde a década de 1980, tanto com trabalhos paleobotânicos quanto palinológicos. Os espécimes paleobotânicos desta localidade estão preservados como compressões, isto é, com a matéria orgânica das cutículas ainda presente, preservando importantes informações. Identificações taxonômicas com base na epiderme da folha são sistematicamente mais precisas do que aquelas que se baseiam apenas na morfologia foliar (Guerra-Sommer, 1988; 1989; 1992). No entanto, associações deste tipo raramente são registrados na Bacia do Paraná. Além disso, em estudos bioestratigráficos, que buscam correlacionar um grande número de localidades, a identificação com base apenas na morfologia das folhas é o mais utilizado, uma vez que abrange um ampla números de localidades com associações paleobotânicas, além de sua identificação ser mais rápida, sem a necessidade de preparação laboratorial, sendo muitas vezes realizada no momento da coleta do material.

Os trabalhos taxonômicos prévios de paleobotânica da Mina do Faxinal (Guerra-Sommer, 1988; 1989; 1992) foram amplamente discutidos e apresentados de forma clara com detalhadas descrições e ilustrações dos táxons, sendo utilizados como base para o levantamento e análise aqui realizados. Para os espécimes foliares, que tiveram suas identificações feitas com base na epiderme foliar, buscou-se uma equivalência entre estas morfoespécies e aquelas com base apenas na morfologia foliar.

De acordo com a análise dos espécimes de plantas fósseis e os trabalhos taxonômicos já realizados, a Mina do Faxinal registra 15 táxons paleobotânicos (Tabela 3), incluindo tanto espécies descritas pelo padrão epidérmico quanto aquelas erigidas com base apenas em características morfográficas (Boardman *et al.*, submetido b, P II, Cap. 4). Geralmente, há uma correspondência entre os táxons epidérmicos e morfográficos, como no caso de *Ruffloria gondwanensis* e *Cordaites* sp. (Guerra-Sommer, 1988; 1989). Já as folhas de *Glossopteris* erigidas com base no padrão epidérmico podem representar mais de uma espécie em termos morfográficos. Por exemplo, o padrão epidérmico de *Glossopteris papillosa* ocorre tanto na morfoespécie *G. communis* quanto em *G. indica* (Guerra-Sommer, 1992; Tybusch & Iannuzzi, em preparação). Guerra-Sommer (1992) indicou também a

similaridade de *G. similis-intermittens* com *G. intermittens* e *G. browniana* e de *G. brasiliensis* com *G. browniana* e *G. angustifolia*.

O domínio das Glossopteridales, típico elemento da “Flora *Glossopteris*”, seguido pelas Cordaitales, é ainda mais acentuado que nos resultados anteriores para o mesmo nível (Guerra-Sommer, 1988; 1992; Dias & Guerra-Sommer, 1994; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000). A presença de paleossolos ao longo de toda a seção juntamente com ramos com folhas de *Glossopteris* cruzando o plano de acamamento do *tonstein* indica que parte desta comunidade vivia ali, compondo uma associação autóctone-parautóctone. O predomínio de táxons arborescentes, mesmo adjacente a ambientes geradores de turfeiras, sugere que essa comunidade habitava ambientes transicionais, relativamente distantes de corpos d’água, compondo uma associação meso-higrófila (Cúneo, 1986), o mesmo considerado por Guerra-Sommer *et al.* (1991), em um ambiente fluvio-deltáico mais restrito a influência marinha (Cazzulo-Klepzig *et al.*, 2007).

Como no Afloramento Quitéria, interpretações palinológicas com base nos dados de trabalhos anteriores desta localidade se torna difícil, uma vez que somente táxons selecionados foram listados e/ou ilustrados (Guerra-Sommer *et al.*, 1984; 2008a; 2008b; Dias & Guerra-Sommer, 1994; Cazzulo-Klepzig, 2001; Cazzulo-Klepzig *et al.*, 2007; 2009). Das lâminas palinológicas já confeccionadas para a Mina do Faxinal apenas aquelas do nível estudados por Dias & Guerra-Sommer (1994), Pb 3289 (14 lâminas), foram encontradas. Desta forma, novos níveis foram processados e analisados (Boardman *et al.*, submetido b, P II, Cap. 4).

Os níveis palinológicos recuperados mostraram associações mal preservadas, e constituídas principalmente por fitoclastos opacos (Figura 5). Os melhores resultados foram obtidos a partir de 5 níveis (MF2, MF5, MF6, MF10 e MF11). A comparação dos níveis aqui amostrados com aqueles analisados nos trabalhos anteriores resulta a correlação de MF7 com o nível P2 de Cazzulo-Klepzig *et al.* (2007), MF11 com o nível estudado por Dias & Guerra-Sommer (1994) e, MF11 e MF12 aos níveis adjacentes ao *tonstein* estudado por Cazzulo-Klepzig *et al.* (2009). Nenhum dos níveis aqui analisados e correspondentes aos anteriormente estudados se mostrou fértil para esporomorfos. Por outro lado, a reanálise das lâminas utilizadas por Dias & Guerra-Sommer (1994) possibilitou a inclusão do nível MF11 no estudo.

A lista completa dos táxons e sua distribuição estratigráfica junto à seção é apresentada na Tabela 4. Em geral, as assembléias palinológicas observadas são

dominadas por esporos, que alcançam até 99,69%. Esporos associados a diferentes grupos de plantas foram observados, tais como Lycopsida (*Lundbladispora*, *Cristatisporites* e *Vallatisporites*), Sphenopsida (*Calamospora*) e Filicopsida (*Cyclogranisporites*, *Punctatisporites* e *Granulatisporites*). Grãos de pólen são raros e representados por poucos espécimes relacionados com a Gimnospermopsida, como Glossopteridales (*Protohaploxylinus*, *Vittatina* e *Fusacolpites*) e Coniferales (*Caheniasaccites*, *Alisporites* e *Limitisporites*).

Filicopsida é o grupo dominante na maioria dos níveis, exceto no MF11. *Punctatisporites* e *Cyclogranisporites* são os gêneros mais representativos; o primeiro é abundante em MF2, MF6 e MF10, enquanto o segundo domina em MF5. Lycopsida é dominante em MF11, raro em MF5 e ausente nos demais níveis. Sphenopsida ocorre em todos os níveis, sendo mais representativo em MF10.

Os grãos de pólen são expressivos em MF2, MF5 e MF11, sendo *Scheuringipollenites*, *Vesicaspora* e *Protohaploxylinus* os gêneros mais abundantes.

A sequência carbonosa com diversas camadas de carvão intercaladas a pelitos e siltitos da porção inferior da seção Mina do Faxinal (Figura 5) indica uma origem sedimentar em ambiente transicional fluvio-deltáico, típico das turfeiras geradora dos carvões gondvânicos. Dentro deste contexto, pode-se afirmar que as pequenas diferenças encontradas entre os níveis palinológicos amostrados representam apenas uma leve variação lateral em um mesmo ambiente de sedimentação.

Os resultados aqui registrados se assemelham aos de Guerra-Sommer *et al.* (1984), quanto ao domínio de esporos perante os grãos de pólen. Porém, o táxon mais representativo naquele estudo é *Lundbladispora*, aqui abundante em apenas um nível, MF11. *Portalites* é também citado como abundante, mas está ausente na presente análise. Por outro lado, nossos resultados se diferenciam daqueles obtidos por Cazzullo-Klepzig *et al.* (2007), uma vez que os mesmos registraram um domínio de grãos de pólen, principalmente bissacados, além da ausência de *Botryococcus* e baixa frequência de elementos algálicos e fungos para um típico depósito de carvão, semelhante à maioria dos níveis aqui analisados.

Comparando-se ainda os resultados obtidos com as comunidades de plantas formadoras de turfeiras de Marques-Toigo & Corrêa da Silva (1984), apenas o nível MF11 pode ser correlacionado com a “Associação *Lundbladispora-Punctatisporites-Portalites*”. Com os demais níveis não houve correlação, devido à raridade de esporos de Lycopsida e a baixa representatividade de grãos de pólen nos níveis

aqui estudados. Guerra-Sommer *et al.* (1991) indicaram uma correlação da Mina do Faxinal com a “Associação *Scheuringipollenites- Caheniasaccites*”, só que com base na frequência dos táxons da macroflora do nível do *tonstein*.

Correlacionando os resultados paleobotânicos e palinológicos, os níveis palinológicos aqui estudados (MF2, MF5, MF6, MF10 e MF11) não apresentam equivalência com os resultados paleobotânicos, mesmo considerando-se apenas os grandes grupos de plantas. Na análise palinológica, os esporos (Filicopsida, Lycopsida, Sphenopsida) apresentam amplo domínio (superior a 67%) sobre os grãos de pólen (Glossopteridales, Coniferares), enquanto em termos paleobotânicos as Glossopteridales são amplamente dominantes na associação (80%).

Analisando os resultados paleobotânicos do nível do *tonstein* com a análise palinológica para o nível de *tonstein* e carvões adjacente de Cazzulo-Klepzig *et al.* (2009), verifica-se uma semelhança entre a macroflora do *tonstein* e microflora do carvão suprajacente com grande expressividade de grãos de pólen, principalmente daqueles relacionados às Glossopteridales. Estes autores registraram uma diferenciação da microflora ao longo da deposição devido à influência da sedimentação das cinzas vulcânicas, passando de uma associação dominada por Lycopsida, no carvão inferior e no *tonstein*, a um domínio de grãos de pólen bissacados, no carvão superior.

7.2.3. Morro do Papaléo

Movidos pela importância dos depósitos permianos registrados na seção aflorante do Morro do Papaléo, trabalhos paleobotânicos vêm sendo realizados na região desde a década de 1970 (Corrêa da Silva, 1978; Corrêa da Silva & Arrondo, 1977, Cazzulo-Klepzig & Guerra-Sommer, 1983; Iannuzzi *et al.* 2003a; 2003b; Vieira *et al.*, 2007; Souza & Iannuzzi, 2007; 2009; Tybusch, 2005; Tybusch & Iannuzzi, 2008; 2010; Roesler *et al.*, 2008), apresentando, assim, uma macroflora bastante conhecida. Em Iannuzzi *et al.* (2010a, P II, Cap. 5) é apresentado as principais características e resultados obtidos para o Morro do Papaléo além de sugestões quanto as medidas de proteção para o sítio paleontológico.

Com o levantamento bibliográfico, a revisão do material depositado nas coleções e novos trabalhos de campo, foi possível confirmar para a localidade 36 táxons paleobotânicos, sendo 22 destes identificados em nível de espécie, distribuídos nos 5 níveis fossilíferos (Tabela 3, Figura 6).

Estudos tafonômicos e paleoecológicos nos níveis com macrofósseis vegetais registraram o domínio das Glossopteridales em N2, N7 e parte de N8 (Iannuzzi *et al.*, 2007b). As Filicopsida e Licopsida dominam as outras fácies de N8. No Nível N4 predominam as Sphenopsida, nas fácies mais proximais, e as Cordaitales, nas fácies mais distais, com as Glossopteridales sendo bastante expressivas. Estes autores registraram duas comunidades de plantas higro-mesófila na localidade, uma relacionada a ambiente lagunar/ lacustre (N2, N3 e N4) e a outra, a planícies de inundação (N7 e N8). O incremento na presença de restos de vegetais e paleossolos no topo do Grupo Itararé, 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 (Iannuzzi *et al.*, 2010a, P II, Cap. 5). No entanto, a ausência de palinómorfs junto às esses níveis impede uma interpretação paleoambiental definitiva desta porção da seção.

A análise palinológica recuperou três conjuntos de esporómorfs, N1, relativo ao Grupo Itararé, e N5 e N6, a Formação Rio Bonito (Smaniotto *et al.*, 2006). A Tabela 4 apresenta a listagem completa dos palinómorfs registrados ao longo da seção do Morro do Papaléo. De forma geral, os esporos dominam as associações perante os grãos de pólen, que, no nível do Grupo Itararé, *Cristatisporites* e *Vallatisporites* são os gêneros mais dominantes e, nos nível da Formação Rio Bonito, os gêneros mais frequentes são *Lundbladispóra* e *Punctatisporites*. Segundo Smaniotto *et al.* (2006), as espécies microplanctônicas ocorrem de forma diferenciada entre as unidades: *Brazilea* e *Leiosphaeridia*, apenas no N1, enquanto *Quadrissporites* e *Tetraporina*, ocorrem em todos os níveis, assim como as proporções entre os grupos da matéria orgânica particulada, permitindo inferir um ambiente transicional, com influência marinha, para a porção mais basal do Grupo 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.

7.3. Bioestratigrafia

A análise fitoestratigráfica realizada é baseada no esquema de Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), revisado por Iannuzzi *et al.* (2007a). Em termos palinoestratigráficos, utiliza-se os zoneamentos de Souza & Marques-Toigo (2003; 2005) e Souza (2006).

7.3.1. Afloramento Quitéria

Entre os macrofósseis vegetais registrados no Afloramento Quitéria (Tabela 3), *Brasilodendron pedroanum* e *Glossopteris browniana* são estratigraficamente restritos a Zona *Glossopteris / Rhodeopteridium*. Táxons exclusivos também ocorrem no Afloramento Quitéria, como *Botrychiopsis valida*, *Lycopodites riograndensis* e *Coricladus quiteriensis*, o que impede sua utilização como fósseis guia.

A ocorrência de *Giridia quiteriensis* (Boardman & Iannuzzi, 2010, P II, Cap. 2) em Quitéria e no Afloramento Bainha, em Criciúma, SC, sugere uma correlação entre estas duas localidades, uma vez que estruturas reprodutivas tendem a ter uma curta amplitude estratigráfica, sendo, por conseguinte, consideradas boas indicadoras bioestratigráficas. O Afloramento Bainha é a localidade clássica que contém a conhecida flora da “Camada Irapuá”, uma camada de carvão subjacente à “Camada Barro Branco”, importante camada-guia do topo do Membro Siderópolis, última subunidade da Formação Rio Bonito na “bacia carbonífera catarinense” (Iannuzzi, 2002). Desta forma, considerando-se que a “Camada Irapuá” tem seu posicionamento estratigráfico bem definido na porção superior da Formação Rio Bonito, esta correlação sugere que os depósitos do Afloramento Quitéria também registrem os sedimentos mais jovens da Formação Rio Bonito.

Dentre os esporomorfos recuperados ao longo da seção do Afloramento Quitéria (Tabela 4), ocorrem táxons guias referentes à Zona *Vittatina costabilis* (ZVc), tais como *Vittatina costabilis*, *V. subsaccata* e *V. vittifera*. A presença de *P. limpidus* e *S. talchirensis* e a abundância de *G. austroamericanus* e *C. confluens*, indicam uma correspondência com a subzona inferior da ZVc, ou seja, a Subzona *Protohaploxypinus goraiensis*. Nenhum táxon diagnóstico da Subzona *Hamiapollenites karrooensis* foi recuperado. Porém, foi observada nas associações a ocorrência de *Striatopodocarpites pantii* e cf. *Weylandites* sp., respectivamente nos níveis Q6 e Q9 (Tabela 4), táxons típicos da sobrejacente Zona *Lueckisporites virkkiae* (ZLv). Deste modo, o registro destes dois últimos taxóns parecem corresponder às suas primeiras aparições.

De acordo com Souza & Marques-Toigo (2003; 2005), grãos de pólen teniados e poliplicados são mais abundantes a partir da base da Zona *Lueckisporites virkkiae*, onde esporos são menos frequentes. Desta forma, o posicionamento do Afloramento Quitéria na Subzona *Protohaploxypinus goraiensis* é baseado na presença de um grande número de táxons típicos desta unidade, alguns deles

estratigraficamente restritos, bem como a ausência de espécies diagnósticas de SzHk e a rara presença de guias da ZLv.

Cabe ressaltar que Jasper *et al.* (2006) posicionaram o Afloramento Quitéria na Subzona *Hamiapollenites karrooensis* (SzHk) a ZVc, com base na ocorrência de *Striatopodocarpites fusus*, o qual, segundo Souza & Marques-Toigo (2005) ocorre a partir desta subzona. Entretanto, Dias (1993) já havia registrado esta espécie no Grupo Itararé, o que impediria a sua utilização como guia no reconhecimento da SzHk.

7.3.2. Mina do Faxinal

Entre os macrofósseis vegetais registrados na associação da Mina do Faxinal (Tabela 3), *Sphenopteris* cf. *S. ischanovensis* e *Plusmteadia sennes* constituem os únicos táxons exclusivos da Zona *Glossopteris/ Rhodeopteridium*. Porém, ambos são endêmicos desta localidade, não sendo aqui considerados como bons marcadores bioestratigráficos. *Glossopteris occidentalis*, mencionada anteriormente para a localidade como *Glossopteris* cf. *G. occidentalis* por Guerra-Sommer *et al.* (1983) e considerada forma exclusiva da Zona *Glossopteris/ Rhodeopteridium* na proposta original de Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), teve sua amplitude estratigráfica estendida até a subjacente Subzona *Phyllothea indica* (Iannuzzi *et al.*, 2007a). *Glossopteris browniana*, também exclusiva da Zona *Glossopteris/ Rhodeopteridium* e tida como morfo-espécie de *G. riograndensis* (Guerra-Sommer, 1988), *G. brasiliensis* e *G. similis-intermittens* (Guerra-Sommer, 1988; 1992) não foi, no entanto, registrada no presente trabalho. Contudo, a presença dos fetos, vinculados neste caso ao morfo-gênero *Sphenopteris* (i.é, *Sphenopteris* cf. *S. ischanovensis*), indica o posicionamento da localidade na Zona *Glossopteris/ Rhodeopteridium*, uma vez que os fetos constituem um grupo vegetal restrito a esta zona (Iannuzzi *et al.*, 2007a).

No conjunto de palinomorfos registrados para a Mina do Faxinal (Tabela 4) ocorrem diversos táxons marcadores da Zona *Vittatina costabilis* (ZVc). A presença de *Protohaploxylinus goraiensis* e *Illinites unicus* possibilitam refinar o posicionamento bioestratigráfico, indicando o reconhecimento da subzona inferior da ZVc, i.é, a Subzona *Protohaploxylinus goraiensis* para a seção. Nenhum táxon diagnóstico da Subzona *Hamiapollenites karrooensis* foi recuperado. No entanto, assim como no Afloramento Quitéria, foi observada a ocorrência de um táxon guia da sobrejacente Zona *Lueckisporites virkkiae*, neste caso o próprio grão de

Lueckisporites virkkiae, o qual foi identificado no nível MF5. Da mesma forma, os conjuntos registrados na Mina do Faxinal também apresentaram características típicas da Zona *Vittatina costabilis*, com o predomínio de esporos e subordinadamente grãos de pólen estriados e poliplicados, assumindo-se assim o posicionamento da Mina do Faxinal na Subzona *Protohaploxypinus goraiensis*, base da ZVc.

Diversos trabalhos posicionaram estratigraficamente a Mina do Faxinal com base nos conjuntos palinológicos registrados, com resultados controversos. Dias & Guerra-Sommer (1994), apoiadas no registro de espécies de *Maculatasporites*, posicionaram a Mina do Faxinal na porção superior da Subzona *Caheniasaccites ovatus* e base da Subzona *Hamiapollenites karroensis* de Marques-Toigo (1988). Contudo, *Maculatasporites* não foi considerado uma espécie-guia válida nos trabalhos bioestratigráficos posteriores (Marques-Toigo, 1991; Souza & Marques-Toigo, 2001; 2003; 2005; Souza, 2006). Guerra-Sommer *et al.* (2008a), utilizando estudos palinológicos prévios (Guerra-Sommer *et al.*, 1984; Dias & Guerra-Sommer, 1994; Cazzulo-Klepzig, 2001), posicionaram a Mina do Faxinal na Subzona *Hamiapollenites karroensis* (Marques-Toigo, 1991; Souza & Marques-Toigo, 2003; 2005). Porém, estes autores não justificaram a sua escolha e nenhum dos táxons citados no texto constitui-se em índice para esta subzona (SzHk). Por outro lado, Guerra-Sommer *et al.* (2008b) consideraram os níveis de *tonstein* das minas de Candiota e Faxinal como contemporâneos e, baseados na existência de um mesmo contexto paleontológico e sedimentológico para as duas localidades, assumiram para a Mina de Faxinal o mesmo posicionamento palinoestratigráfico registrado para a Mina de Candiota (Guerra-Sommer *et al.*, 2008c), ou seja, na Subzona *Protohaploxypinus goraiensis*, como o que foi também sugerido aqui.

7.3.3. Morro do Papaléo

O Morro do Papaléo apresenta atualmente o arcabouço mais completo das paleofloras permianas (macro e microflora) da porção sul da Bacia do Paraná (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2007a; 2010a, P II, Cap. 5; Smaniotto *et al.*, 2006), com o registro das três unidades fitoestratigráficas do zoneamento deste setor da bacia. A Subzona *Gangamopteris obovata*, subzona inferior da Zona *Botrychiopsis plantiana*, ocorre nos níveis N2 e N3 do Morro do Papaléo (Figura 6) devido à presença de *Gangamopteris obovata* e a ausência de táxons marcadores da subzona sobrejacente. O nível N4 está posicionado na Subzona *Phyllothea indica*

devido à presença de *Phyllothea australis* e de outros táxons exclusivos desta unidade como: *Stephanophyllites* sp. e *Cheirophyllum speculare*. Por fim, os níveis N7 e N8 estão assinalados na Zona *Glossopteris/ Rhodeopteridium* pela presença de táxons endêmicos desta unidade, tais como *Brasilodendron pedroanum*, *Sphenopteris* sp. e *Pecopteris* spp. (Figura 6, Tabela 4).

Smaniotto *et al.* (2006) realizaram a análise palinológica da seção do Morro do Papaléo, com bons resultados em três do cinco níveis amostrados (N1, N5 e N6, Figura 6). A presença de *Protohaploxylinus goraiensis* e *Illinites unicus*, além da ausência de táxons índices das unidades sub e sobrejacentes (Tabela 4), permitiram um claro posicionamento palinoestratigráfico de boa parte da seção do Morro do Papaléo na Subzona *Protohaploxylinus goraiensis*, unidade inferior da Zona *Vittatina costabilis*.

A Figura 7 apresenta uma síntese dos resultados aqui apresentados para o Afloramento Quitéria, a Mina do Faxinal e o Afloramento Morro do Papaléo, com o posicionamento de cada localidade quanto aos dados advindos da Paleobotânica, Palinologia e Estratigrafia.

7.4. Integração dos resultados

Em relação aos resultados fitoestratigráficos, os depósitos do Afloramento Quitéria e da Mina do Faxinal são atribuídos na Zona *Glossopteris/ Rhodeopteridium* devido à presença de fósseis guias característicos desta unidade (Figura 7). Esta zona corresponde às Tafofloras B e C de Rösler (1978) e à Flora *Glossopteris-Brasilodendron* de Iannuzzi & Souza (2005), a qual aplica-se à totalidade das seções aflorantes ao longo da margem leste da Bacia do Paraná, podendo também ser associada à Zona *Glossopteris* registrada na Argentina e no Uruguai (Archangelsky *et al.*, 1980). De forma mais ampla, pode também ser correlacionada com a flora do Permiano Inferior da Austrália e da Índia (Retallack, 1980; Maheshwari & Bajpai, 2001).

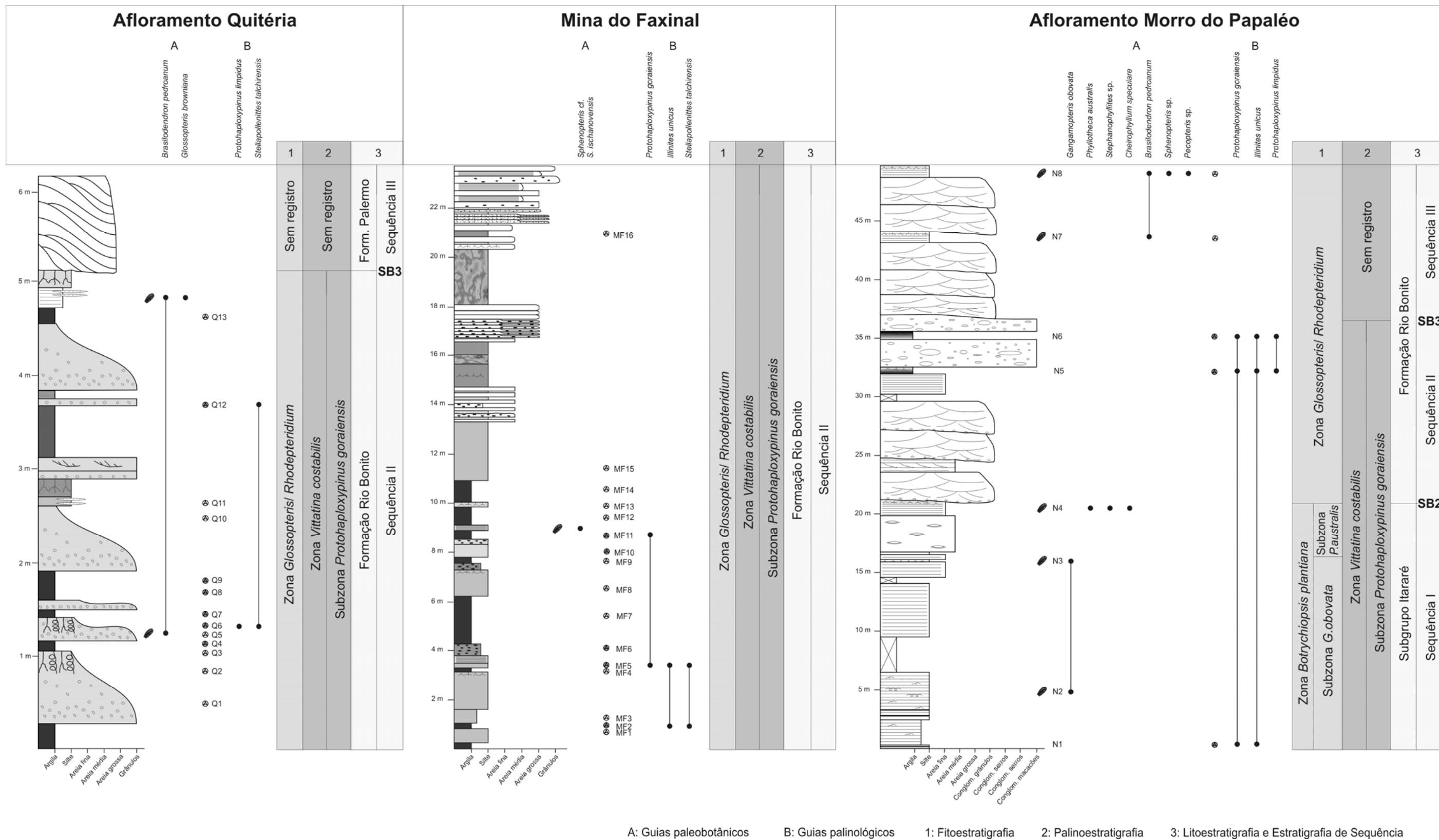


Figura 7: Síntese dos resultados quanto ao posicionamento Paleobotânico, Palinológico e Estratigráfico das localidades analisadas no Paleovale Mariana Pimentel (Afloramento Quitéria, Mina do Faxinal e Afloramento Morro do Papaléo).

A presença de espécimes de grãos de pólen marcadores da Zona *Lueckisporites virkkiae*, tais como *Striatopodocarpites pantii* e cf. *Weylandites* sp. no Afloramento Quitéria e de *Lueckisporites virkkiae* na Mina do Faxinal, é aqui considerada como indício de seus primeiros aparecimentos. Grãos de pólen marcadores da ZLv foram também registrados na transição entre as formações Rio Bonito e Palermo, no sul da Bacia do Paraná, na região de Candiota, RS, (Mori & Souza, 2010; Mori, 2010). Nestes dois últimos trabalhos, os autores demonstram, a partir de dados de poços (HN-05-RS e HN-25-RS) e afloramento, que o intervalo entre o topo da Formação Rio Bonito e a base da Formação Palermo apresenta características “transicionais” em termos bioestratigráficos, onde determinadas espécies da ZVc alcançam níveis da ZLv e vice-versa, confirmando assim considerações feitas por autores prévios (Daemon & Quadros, 1970). Essas características também foram observadas por Beri *et al.* (2004) em depósitos da Bacia do Paraná em uma área do território uruguaio, conforme sintetizado em Souza *et al.* (2007). Diante desta problemática (Mori, 2010) sugere uma nova compartimentação bioestratigráfica, a qual se diferencia do setor norte da bacia.

Deste modo, quanto aos resultados palinológicos, tanto o Afloramento Quitéria quanto a Mina do Faxinal foram assinaladas na Subzona *Protohaploxypinus goraiensis* devido a presença de um grande número de táxons típicos desta unidade, alguns deles estratigraficamente restritos, bem como a ausência de espécies diagnósticas da Subzona *Hamiapollenites karroensis* e a rara presença de táxons de guias da Zona *Lueckisporites virkkiae*. Cabe salientar que a SzPg está correlacionada com a Zona *Cristatisporites inconstans* - *Vittatina subsaccata* (Beri *et al.*, 2004) do Uruguai e a zonas *Potonieisporites* - *Lundbladispota* (Vergel, 1993) e *Fusacolpites Fusus* - *Vittatina subsaccata* (Cesari & Gutiérrez, 2000) da Argentina.

Trabalhos integrativos dos dados paleobotânicos, palinológicos e estratigráficos no Morro do Papaléo vêm sendo realizados nos últimos anos (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2006; 2007a; 2010b). Como resultado, esta localidade registra atualmente um amplo conjunto de dados ao longo da sua seção (Iannuzzi *et al.*, 2007a, P II, Cap. 5), tais como: o registro de duas unidades estratigráficas (Grupo Itararé e Formação Rio Bonito, do Grupo Guatá); as três unidades fitoestratigráficas (Subzona *Gangamopteris obovata*, Subzona *Phyllothea indica* e Zona *Glossopteris/ Rhodeopteridium*) vigentes para a porção sul da bacia; dados palinológicos, em sedimentos das duas unidades estratigráficas presentes (Grupo Itararé e Formação Rio Bonito), os quais são posicionados na Subzona

Protohaploxypinus goraiensis, base da Zona *Vittatina costabilis*; além de registrar três sequências de terceira ordem (S1, S2 e S3), divididas pelos limites de sequência SB2 e SB3 do modelo de sequências estratigráficas para a porção sul da bacia (Holz 1997; 1999; Holz *et al.*, 2000).

Todos esses dados possibilitaram um melhor entendimento entre os resultados provenientes do uso destas ferramentas nos depósitos permianos do Rio Grande do Sul, muitas vezes aplicadas independentes umas das outras. Com base nas informações advindas do Morro do Papaléo, juntamente com novos dados de outras localidades contendo macrofósseis vegetais, Iannuzzi *et al.* (2007a) revisaram o fitozoneamento de Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993), atualizando a amplitude estratigráfica dos táxons e fazendo correlações com os dados estratigráficos, palinológicos e de datações radiométricas.

Além disso, em uma discussão sobre os registros paleoflorístico e estratigráficos da sucessão pós-glacial da porção sul da Bacia do Paraná, Iannuzzi *et al.* (2010b) correlacionaram a seção do Afloramento Morro do Papaléo com o poço CA-53, identificando os limites de sequência e tratos de sistemas (Holz, 1997; 1999; Holz *et al.*, 2000). O amplo conhecimento desta localidade permitiu estender a correlação com o Afloramento Quitéria, incluindo-o neste estudo, com a identificação do limite de sequência SB3 na sua seção.

A Figura 8 apresenta um conjunto de poços ao longo do Paleovale Mariana Pimentel até a porção mais interior, com a seção aflorante do Morro do Papaléo, os qual estão estruturados com base no modelo estratigráfico de Holz (1997; 1999) e Holz *et al.* (2000) para os carvões da porção sul da bacia. Neste contexto, é apresentado o posicionamento estratigráfico das 3 localidades estudadas (Afloramento Quitéria, Mina do Faxinal e Morro do Papaléo). Com base nas superfícies erosivas registradas para o Afloramento Quitéria (Iannuzzi *et al.*, 2010b) e o Morro do Papaléo (Iannuzzi *et al.*, 2003a; 2003b; 2007a, P II, Cap. 5; 2010b) foi possível correlacionar diretamente as duas seções aos limites registrados nos poços. Nenhum marco estratigráfico foi registrado na Mina do Faxinal; no entanto, os dados aqui analisados posicionam esta localidade na porção mais superior da Formação Rio Bonito, uma vez que, estratigraficamente, as camadas de carvão registradas nos poços (Figura 8) estão posicionadas logo abaixo da SB3 e, pela análise palinoestratigráfica, ocorrem raros elementos indicativos de uma transição entre a SzPg e a ZLv, como em Quitéria (Boardman *et al.*, submetido a, P II, Cap. 3) e na região de Candiota (Mori & Souza, 2010; Mori, 2010).

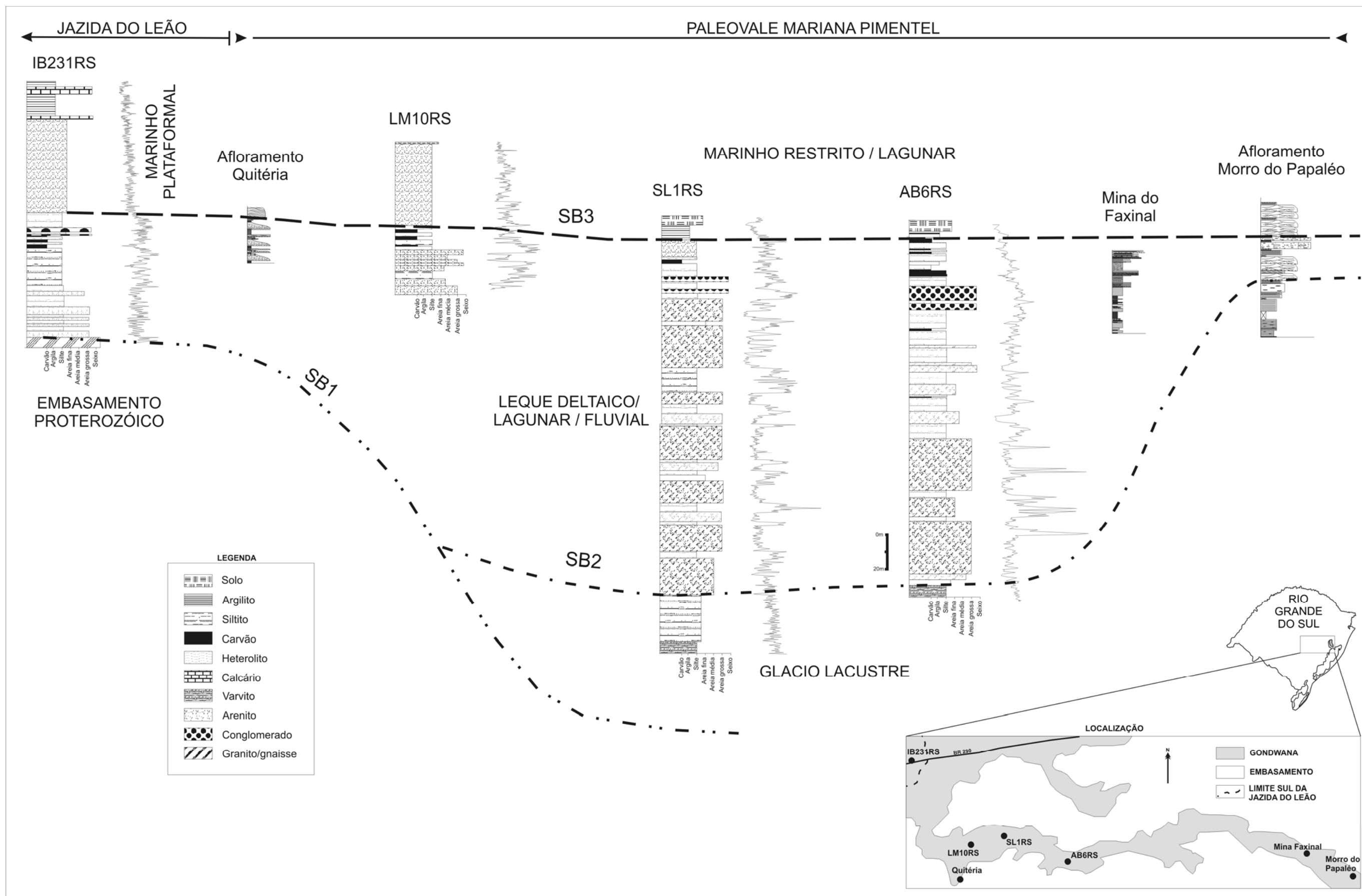


Figura 8 (poços): Correlação das seções estudadas (Afloramento Quitéria, Mina do Faxinal e Morro do Papaléo), no contexto do Paleovalle Mariana Pimentel com base nos critérios de Holz (1997; 1999) e Holz *et al.* (2000).

Comparando-se a composição microflorística das localidades no Rio Grande do Sul que apresentaram características transicionais entre a SzPg e ZLv, os conjuntos palinológicos do Afloramento Quitéria e da Mina do Faxinal mostram um padrão bastante similar com feições típicas da SzPg, mas já com a rara ocorrência de táxons da ZLv. Diferentemente, na região de Candiota foram registradas características palinológicas marcantes da ZLv, ainda dentro da Sequência 2, abaixo do limite de sequência SB3, ou seja, em sedimentos do topo da Formação Rio Bonito. Desta forma, comparando-se os registros palinológicos das localidades analisadas do Paleovale Mariana Pimentel com os resultados obtidos na região de Candiota (Afloramento BR293, Km 152 e poços HN-05-RS e HN-25-RS, conforme Mori & Souza, 2010; Mori, 2010), pode-se inferir que o limite seqüência SB3 tenha se estabelecido de forma diferenciada entre essas duas regiões no setor sul da bacia, erodindo de forma mais intensa os sedimentos da porção superior da Formação Rio Bonito no Paleovale Mariana Pimentel do que na região de Candiota.

O Morro do Papaléo, clássico afloramento do Paleovale Mariana Pimentel, não registrou este intervalo de transição entre a ZVc e ZLv (Smaniotto *et al.*, 2006; Iannuzzi *et al.*, 2010a, P II, Cap. 5). Por estar situado na porção mais oriental do paleovale, ou seja, em uma região mais interna do paleovale e, desta forma, mais distante da linha de costa, seu regime de sedimentação sofreu mais intensamente com as mudanças no nível de base. Devido a isto, registra-se hoje, em uma seção aflorante condensada com apenas 50 m (Figura 6), as três seqüências de terceira ordem (S1, S2 e S3) propostas para este intervalo do Permiano, divididas pelos limites de sequência SB2 e SB3 (Holz 1997; 1999; Holz *et al.*, 2000). Com isto, a ausência deste intervalo de transição nos conjuntos palinológicos registrados no Morro do Papaléo poderia ser explicada (i) tanto pela ocorrência de uma erosão ainda mais intensa na extremidade oriental do Paleovale do que nas áreas do Afloramento Quitéria e da Mina do Faxinal, com obliterações dos sedimentos deste intervalo de transição (Figura 8), (ii) como pela não recuperação de palinóforos nos níveis superiores (N7 e N8) que devido ao tipo de depósito não possibilitaram a preservação da matéria orgânica.

Nenhum trabalho sobre datação absoluta abordando especificamente o Afloramento Quitéria foi realizado. No entanto, o Afloramento BR293 Km 152, na região de Candiota, registra um nível de *tonstein*, o qual é estratigraficamente superior aos níveis de cinza vulcânica registrados na Mina de Candiota, cuja base foi reconhecida a Zona *Lueckisporites virkkiae* (Mori & Souza, 2010). Este *tonstein* foi

datado com uma idade de $281,4 \pm 3,4$ Ma (Mori *et al.*, 2011). Desta maneira, como mostram os resultados palinológicos e considerando a superfície erosiva SB3 nas duas localidades, a seção de Quitéria preservou sedimentos ligeiramente mais antigos que os da região de Candiota, podendo inferir que este depósito seja anterior a $281,4 \pm 3,4$ Ma.

Para a Mina do Faxinal algumas datações absolutas já foram obtidas e representam esforços significativos para melhorar a calibração geocronológica destes depósitos. As idades variaram entre $288,76 \pm 1,4$ Ma e $290,6 \pm 1,5$ Ma (Guerra-Sommer *et al.*, 2006; 2008a; 2008c), o que sugere um intervalo Artinskiano precoce - Sakmariiano tardio para este depósito.

Do mesmo modo, por apresentar associações microflorísticas levemente mais antigas do que das demais localidades analisadas, pode-se inferir que o Afloramento Morro do Papaléo registra os níveis fossilíferos mais antigos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação e a análise dos conjuntos paleobotânicos e palinológicos do Afloramento Quitéria e da Mina do Faxinal, a comparação com os registros do Afloramento Morro do Papaléo e a integração entre estes dados e o modelo estratigráfico para os carvões da porção sul da Bacia do Paraná (Holz, 1997; 1999; Holz *et al.*, 2000) permitiu a obtenção dos seguintes resultados:

(i) A revisão das amostras paleobotânicas oriundas do Afloramento Quitéria permitiu atualizar a lista de táxons presentes nesta localidade com 14 morfoespécies distribuídas nos dois níveis fossilíferos, Quitéria Base e Quitéria Topo. Com isto, foi confirmada apenas a Zona *Glossopteris/ Rhodeoptridium* para a localidade, marcada pela presença de *Brasilodendron pedroanun* e frondes de *Rhodeopteridea* em ambos os níveis, e de *Glossopteris browniana* em Quitéria topo;

(ii) Apoiado em espécimes inéditos oriundos do Afloramento Bainha, em SC, foi possível reavaliar os espécimes até então descritos como *Gondwanostachys australis*, em Quitéria Base, em uma nova espécie do gênero indiano *Giridia*, *Giridia quiteriensis*. A descrição desta nova espécie possibilita uma correlação direta entre os afloramentos Quitéria e Bainha, além de ampliar a correlação das floras permianas do Brasil e Índia;

(iii) Novos níveis palinológicos foram recuperados ao longo da seção do Afloramento Quitéria permitindo a identificação de 29 espécies de esporos, 36 de

grãos de pólen e 4 táxons relacionados a elementos algálicos e fungos. Assim foi possível reavaliar o posicionamento palinoestratigráfico da localidade, com o reconhecimento da Subzona *Protohaploxypinus goraiensis*, base da Zona *Vittatina costabilis*, devido ao registro de *Vittatina costabilis*, *V. subsaccata* *V. Vittifera*, *Protohaploxypinus limpidus* e *Stellapollenites talchirensis* e a abundância de *Granulatisporites austroamericanus* e *Converrucosisporites confluens*;

(iv) Com base na análise dos espécimes de microfósseis vegetais e nos trabalhos taxonômicos já realizados na Mina do Faxinal foi possível listar 15 táxons paleobotânicos, incluindo tanto espécies descritas pelo padrão epidérmico (Guerra-Sommer, 1988; 1989; 1992) quanto àqueles erigidos com base apenas em características morfográficas. Muitos táxons que ocorrem na Mina do Faxinal são endêmicos e, por isto, não puderam ser utilizados na análise bioestratigráfica. Contudo, a presença dos fetos, como *Sphenopteris* sp., sugerem o posicionamento na Zona *Glossopteris/ Rhodeopteridium*, uma vez que trata-se de um grupo de planta restrito a esta zona;

(v) O estudo palinológico ao longo da seção aflorante da Mina do Faxinal resultou no registro de 28 espécies de esporos, 16 de grãos de pólen e 1 relacionada a elementos algálicos. A presença de *Protohaploxypinus goraiensis* e *Illinites unicus* possibilitou reconhecer a unidade inferior da Zona *Vittatina costabilis*, a Subzona *Protohaploxypinus goraiensis* para seus depósitos;

(vi) O registro de espécimes de grãos de pólen marcadores da Zona *Lueckisporites virkkiae*, tais como *Striatopodocarpites pantii* e cf. *Weylandites* sp. no Afloramento Quitéria e de *Lueckisporites virkkiae* na Mina do Faxinal, foi aqui considerado como o seu primeiro aparecimento. Assim, devido a presença de um grande número de táxons típicos da Zona *Vittatina costabilis*, alguns deles estratigraficamente restritos à Subzona *Protohaploxypinus goraiensis*, além da ausência de espécies diagnósticas da Subzona *Hamiapollenites karroensis* e a rara presença de táxons guia da Zona *Lueckisporites virkkiae*, assinalou-se a Subzona *Protohaploxypinus goraiensis* tanto para o Afloramento Quitéria quanto para a Mina do Faxinal;

(vii) A presença em determinados níveis, mesmo que rara, de espécies marcadoras da Zona *Lueckisporites virkkiae* em estratos tipicamente conhecidos como da Formação Rio Bonito associados a um conjunto palinológico bastante característico da Zona *Vittatina costabilis* marca um intervalo de transição entre as

zonas *Vittatina costabilis* e *Lueckisporites virkkiae* corroborando trabalhos prévios (Daemon & Quadros, 1970; Mori & Souza, 2010; Mori *et al.*, 2011);

(viii) Tomando como base o Afloramento Morro do Papaléo, que registra um amplo arcabouço de dados para a sua seção, foi possível desenvolver uma integração entre os dados paleobotânicos e palinológicos atualizados do Afloramento Quitéria e da Mina do Faxinal e entre o modelo de estratigrafia de sequências para a porção sul da Bacia do Paraná (Holz, 1997; 1999; Holz *et al.*, 2000). Essa análise integrativa permitiu posicionar estratigraficamente essas localidades junto a uma sequência de poços (IB231RS, LM10RS, SL1RS, AB6RS) disponíveis ao longo do Paleovale Mariana Pimentel, onde o Afloramento Quitéria foi amarrado pela superfície erosiva SB3 presente em sua seção e a Mina do Faxinal correlacionada devido a sucessão carbonosa ocorrente na sua seção e nos poços logo abaixo da SB3;

(ix) Comparando o registro palinológico das localidades analisadas do Paleovale Mariana Pimentel, as quais apresentam características típicas da SzPg com a presença de raros táxons da ZLv, com os resultados encontrados na região de Candiota (Afloramento BR293, Km 152 e poços HN-05-RS e HN-25-RS, Mori & Souza, 2010; Mori, 2010), onde foram observadas características marcantes da ZLv já em sedimentos da Formação Rio Bonito, pode-se inferir que o limite seqüência SB3 tenha atuado de forma diferenciada entre essas duas regiões do setor sul da Bacia do Paraná, erodindo de forma mais intensa os sedimentos da porção superior da Formação Rio Bonito no Paleovale Mariana Pimentel do que na região de Candiota. Além disso, a ausência deste intervalo de transição entre a ZVc e ZLv na seção do Morro do Papaléo (Smaniotto *et al.*, 2006), poder ser devido ao fato deste estar situado na porção mais oriental do paleovale, ou seja, em uma região de borda quando de sua sedimentação, e desta forma, sofrendo mais intensamente com as mudanças do nível de base, seja erodindo ainda mais os sedimentos abaixo da SB3, onde se registra esta “zona de transição”.

(x) Comparando os resultados palinológicos e considerando a superfície erosiva SB3 registrada nos afloramentos BR293 Km 152, na região de Candiota, e Quitéria pode-se afirmar que a seção de Quitéria preservou sedimentos ligeiramente mais antigos que os da região de Candiota, podendo, assim, inferir que estes depósitos sejam mais antigos que $281,4 \pm 3,4$ Ma. A Mina do Faxinal datada com idades entre $288,76 \pm 1,4$ Ma a $290,6 \pm 1,5$ Ma e, logo abaixo, mas sem o registro da SB3, preservou depósitos mais antigos que Quitéria. E, por fim, por apresentar

associações microflorísticas levemente mais antigas do que das demais localidades analisadas, o Morro do Papaléo registraria os níveis fossilíferos mais antigos, entre elas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboarrage, A.M. & Lopes, R.C. 1986. Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica. (Relatório interno) Porto Alegre, DNPM - CPRM, v.18.
- 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. & Zimermann, L. 1980. Considerações sobre um afloramento fossilífero do Grupo Itararé: Fazenda Goulart, Francisquinha, Município de São Jerônimo, RS. *Boletim IG-USP*, 11: 85-97.
- Archangelsky, S., Azcuy, C., Pinto, I.D., Gonzalez, C.R., Marques-Toigo, M., Rösler, O. & Wagner, R.H. 1980. The Carboniferous and early Permian of the South American Gondwana area: a summary of biostratigraphic information. 2º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1º Congreso Latinoamericano de Paleontología (Buenos Aires). *Actas*, 4: 257-269.
- Azcuy, C.L. 1978. Posible significado paleoecológico de microfloras gondwânicas del Paleozoico Superior, especialmente argentinas. *Ameghiniana*, 15(1-2): 85-95.
- Azcuy, C.L., Beri, A., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Carrizo, H.A., Di Pasquo, M., Saravia, P. Días, González, C., Iannuzzi, R., Lemos, V.B., Melo, J.H., Pagani, A., Rohn, R., Amenábar, C.R., Sabattini, N., Souza, P.A. & Taboada, A., 2007. Bioestratigrafía del Paleozóico Superior de América del Sur: primera etapa de trabalho hacia una nueva propuesta. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Publicación Especial 11: 9–65.
- Balme, B.E. 1995. Fossil in situ spores and pollen grains: an annotated catalogue. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 87: 81-323.
- Barbosa, O., 1958. On the age of the Lower Gondwana Floras in Brazil and Abroad.

20^o International Geological Congress, Comisión de Gondwana, Cidade do México, 1: 205–236.

- Béri, A., Gutiérrez, P.R., Cernuschi, F. & Balarino, L. 2004. Palinoestratigrafia del Pérmico de la Cuenca Paraná, Uruguay. *11^o Reunião de Paleobotânicos e Palinólogos* (Gramado), *Boletim de Resumos*, p. 29.
- 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. *30^o 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. *2^o 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. & Pontes, C.E.S. 1977. Algumas observações sobre cordaitófitas da Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Brasil. *1^o Congreso Geológico Chileno* (Santiago), 1976. *Actas*, 3: 21-81.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. & Carvalho, R. G. 1981. Frutificações femininas de glossopteridófitas da Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão, Estado de Santa Catarina, Brasil. *2^o Congreso Latinoamericano de Paleontologia* (Porto Alegre). *Anais*, 1:181-199.

- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. & Yoshida, R. 1982. Coniferófitas da “Taoflora Irapuá”, Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão, em Santa Catarina. *Boletín de La Asociación Latinoamericana de Paleobotánica y Palinología*, 8: 39-55.
- Bernardes de Oliveira, M.E.; Rohn, R., Ricardi-Branco, F.; Zampirolli, A.P.; Mune, S.E.; Amaral, P.G.C.do; Longhim, M.E.; Castro-Fernandes, M.C. & Lages, L. 2005. Late Carboniferous to Early Permian glacial related paleofloras from northeastern Paraná Basin, Brazil. *Gondwana 12* (Mendoza). *Abstracts*, 70.
- Boardman, D.R. 2006. *Taoflora de Taió, Santa Catarina (Permiano Inferior, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná)*. Dissertação de Mestrado, 112p., 11est. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Boardman, D.R. & Iannuzzi, R. 2008. Fitoestratigrafia do Paleozóico da Bacia do Paraná: contexto atual. *12º Simpósio de Paleobotânicos e Palinólogos (Florianópolis) Boletim de resumos* p. 26.
- 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.
- Boardman, D.B., Souza, P.A., Iannuzzi, R. & Mori, A.L.O. Paleobotanical and palynological analysis from Quitéria Outcrop (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande Do Sul, Brazil: taxonomy, biostratigraphy and paleoecological implications. *Ameghiniana*, submetido a.
- Boardman, D.B., Iannuzzi, R., Souza, P.A. & Lopes, R.C. Paleobotanical and palynological analysis of Faxinal Coalfield (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande do Sul, Brazil: taxonomy, biostratigraphy and paleoecological implications. *International Journal Coal Geology*. submetido b.
- 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 Paleoecológico do Afloramento Morro do Papaléo, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul, Brasil. *32º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*, 4: 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. 2001. Palinologia aplicada à reconstituição das unidades de paisagem e dinâmica das turfeiras formadoras dos carvões permianos do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. Tese de Doutorado, 300 pp. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Cazzulo-Klepzig, M. & Guerra-Sommer, M., 1983. O morfogênero *Phyllotheca* em sedimentos de Formação Rio Bonito no Rio Grande do Sul. 1º *Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia* (Porto Alegre), Atas, 160–169.
- Cazzulo-Klepzig, M., Piccoli, A.E.M. & Marques-Toigo, M. 1989. Reconhecimento de um marco estratigráfico com significado paleoecológico no Permiano da Bacia do Paraná (Grupo Guatá e Passa Dois). 11º *Congresso Brasileiro de Paleontologia* (Curitiba). Anais, 1: 970-981.
- Cazzulo-Klepzig, M., Guerra-Sommer, M., Menegat, R., Simas, M.W. & Mendonça Filho, J.G. 2007. Peat-forming environment of Permian coal seams from the Faxinal coalfield (Paraná Basin) in Southern Brazil, based on palynology and palaeobotany. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 10(2): 117-127.
- Cazzulo-Klepzig, M., Mendonça Filho, J.G., Guerra-Sommer, M., Menezes, T.R., Simas, M.W., Mendonça, J.O. & Degani-Schmidt, I. 2009. Effect of volcanic ash-fall on a Permian peat-forming environment, on the basis of palynology, palynofacies and paleobotany (Faxinal Coalfield, Brazil). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 12(3), 179-194.
- Césari, S.N. & Gutiérrez, P.R. 2000. Palynostratigraphy of Upper Paleozoic sequences in Central-Western Argentina. *Palynology*, 24: 113-146.
- 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*, 9: 9–61.
- Corrêa da Silva, Z.C. & Arrondo, O.G., 1977. Tafoflora Permiana de Mariana Pimentel, Município de Guaíba, Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 7: 27–44.
- Cúneo, R. 1986. Paleoecologia de microsecuencias plantíferas del Grupo Rio Guenoa, Pérmico de Chubut, Argentina. *Ameghiniana*, 1-2: 11-131.
- Cúneo, R. & Escapa, I. 2006. The Equisetalean genus *Cruciaetheca* nov. from the Lower Permian of Patagonia, Argentina. *International Journal of Plant Sciences*, 167: 167-177.
- Daemon, R.F. & Quadros, L.P. 1970. Bioestratigrafia no Neopaleozóico da Bacia do Paraná. 24º *Congresso Brasileiro de Geologia* (Brasília) Anais 1: 359-412.

- Dias, M.E. & Guerra-Sommer, M. 1994. Integração entre dados mega e microflorísticos na Jazida do Faxinal, Rio Grande do Sul: estudos preliminares. *Acta Geologica Leopoldensia*, 39(1): 249-260.
- Dias, M.E.R. 1993. Palinologia do Grupo Itararé na Porção Centro-Sul do Rio Grande do Sul, Permiano da Bacia do Paraná, Brasil. *Pesquisas*, 20(2): 119-131.
- 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.
- Fernandes, L.A.D., Tommasi, A., Porcher, C.C., Marques-Toigo, M., Guerra-Sommer, M. & Piccoli, A.E.M. 1989. Mapa geológico de parte das folhas de Quitéria de Várzea do Capivarita, RS. Porto Alegre, Instituto de Geociências, UFRGS (Série Mapas, 14).
- Gastaldo, R.A., Walther, H. Rabold, J. & Ferguson, D. 1996. Criteria to distinguish autochthonous 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. 1995. Fitofagia em Glossopterídeas na Paleoflora da Mina do Faxinal (Formação Rio Bonito, Artinskiano, Bacia do Paraná). *Pesquisas*, 22(1-2), 58-63.
- Guerra-Sommer, M. and Cazzulo-Klepzig, M. 1993. Biostratigraphy 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. 2000. Permian Palaeofloras in Southern Brazilian Gondwana. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3), 486-491.
- Guerra-Sommer, M. & Cazzulo-Klepzig, M. 2001. 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. Editora da Universidade – UFRGS, Porto Alegre, pp. 67-84.
- Guerra-Sommer, M., Backheuser, Y. & Silveira, J.B. 1983. Estrutura Epidérmica de Glossopteridais no Eogondwana Brasileiro: I. *Glossopteis* da Formação Rio Bonito (Faxinal) RS. *1º Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia* (Porto Alegre). Atas, 1: 184-197.

- Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M., Paim, P.S.G., Henz, G.I., Silveira, J.B.R. & Backeuser, Y. 1984. Estudo microflorístico e petrológico dos carvões da Mina do Faxinal, Formação Rio Bonito (Permiano), RS. *Boletim do Instituto de Geociências da USP*, 15: 73-83.
- Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M. & Corrêa da Silva, Z.C. 1991. Original biomass and coal deposition in southern Brazil (Lower Permian. Paraná Basin). *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 162(2): 227-237.
- 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 Lycophyta in the Gondwana of Southern Brazil. *Pesquisas*, 22(1-2): 21-31.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. & Menegat, R. 2001. Roof-Shale floras in the Early Permian Southern Brazilian Gondwana: evidences of the warming of an Ice house stage, *In*: Weiss, H. (Ed.). Contribution to Geology and Paleontology of Gondwana. Colônia - Alemanha: Geologisches Institut, pp. 231-252.
- Guerra-Sommer, M., Santos, J.O.S., Cazzulo-Klepzig, M., Hartmann, L.A., Menegat, R. & McNaughton, N.J. 2006. The geochronological significance of tonstein in coal-bearing strata from the southern Paraná Basin. *5^o South American Symposium on Isotope Geology (Punta del Este)*. *Short Papers* 254-257.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Jasper, A., Kalkreuth, W., Menegat, R. & Barboza, E.G., 2008a. Paleoeological patterns at the coal-roof shale transition in an outcrop of the Permian Brazilian Gondwana. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11: 11–26.
- Guerra Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., Formoso, M.L.L., Basei, M.A.S., Barboza, E.G. & Simas, M.W. 2008b. Geochronological data from the Faxinal coal succession, southern Paraná Basin, Brazil: a preliminary approach combining radiometric U–Pb dating and palynostratigraphy. *Journal of South American Earth Sciences*, 25: 246-256.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Ketzer, J.M., & Formoso, M.L.L. 2008c. Radiometric age determination of tonsteins and stratigraphic constraints for the Lower Permian coal succession in southern Paraná Basin, Brazil. *International Journal of Coal Geology*, 74: 13–27.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Formoso, M.L.L., Menegat, R. &

- Mendonça, J.G. 2008d. U-Pb dating of tonstein layers from a coal succession of the southern Parana Basin (Brazil): A new geochronological approach. *Gondwana Research*, 14: 474-482.
- Henz, G.I. 1986. Organopetrologia e organogeoquímica dos carvões da Jazida do Faxinal, Município de Arroio dos Ratos, RS, Brasil. Dissertação de Mestrado, 158 pp. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Holz, M. 1997. Early Permian sequence stratigraphy and paleogeography 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 palaeogeographic evolution of the Paraná Basin in southernmost Brazil. *Journal of African Earth Sciences*, 29 (1): 51–61.
- 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., Kückle, 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. 2000. Presença do gênero *Stephanophyllites* em estratos Eopermianos do Rio Grande do Sul (Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná). *Revista Universidade de Guarulhos*, 5(no. especial):74-77.
- Iannuzzi, R. 2002. Afloramento Bainha (Criciúma), SC - Flora *Glossopteris* do Permiano Inferior. In: Schobbenhaus, C. et al. (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. pp. 23-31.
- Iannuzzi, R. 2004. Utilização dos macrofósseis na estratigrafia: estudo de caso em plantas fósseis. In: Reunião Aberta da Comissão Brasileira de Estratigrafia, 2004, Porto Alegre. *Anais*, 44-49.
- 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. & Boardman, D.R. 2008. Novas ocorrências de *Botrychiopsis plantiana* (Carr.) Arch. and Arrondo no Afloramento Quitéria, Permiano Inferior, Rio Grande do Sul: implicações bioestratigráficas. *12º Simpósio de Paleobotânicos e Palinólogos* (Florianópolis) *Boletim de resumos* p. 95.
- Iannuzzi, R., Marques-Toigo, M., Scherer M.S.C., Caravaca, G., Vieira, E.L.C. & Pereira, L.S. 2003a. Phytobiostratigraphical revaluation of the Southern Brazilian Gondwana sequence (Paraná Basin, Lower Permian). *15º 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 Seqüência Gondwanica Sul-Riograndense: Estudo de Caso do Afloramento Morro do Papaléo (Bacia do Paraná, Permiano Inferior). *1º Encontro sobre estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias* (Porto Alegre) *Anais*, 182-185.
- Iannuzzi, R., Souza, P.A., Scherer, C.M.S. & Holz, M. 2007a. Plantas fósseis na Bioestratigrafia dos depósitos permianos do Rio Grande do Sul. *In: Iannuzzi, R. and Franz, J.C (eds.). 50 anos de geologia, contribuições do Instituto de Geociências*. Porto Alegre. pp. 41-57.
- Iannuzzi, R., Scherer, C.M.S. & Caravaca, G., 2007b. Taphonomy and paleoecology of the southern Brazilian Glossopteris Flora (Paraná Basin, Lower Permian). *In: Díaz- Martínez, E., Rábano, I. (Eds.), 4º European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America* (Madrid). Instituto Geológico y Minero de España. *Cuadernos del Museo Geominero*, 8: 201–206.
- 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.
- 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.

- 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. *Cori cladus 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.
- Jasper, A., Menegat, R., Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. & Souza, P.A. 2006. Depositional cyclicity and paleoecological variability in the outcrop of Rio Bonito Formation, Early Permian, Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(2): 276-293.
- Jasper, A., Guerra-Sommer, M., Menegat, R., Cazzulo-Klepzig, M., Ricardi-Branco, F.S. & Salvi, J. 2008a. Afloramento Quitéria, Encruzilhada do Sul, RS - Sedimentos lagunares com singular associação fitofossilífera da Formação Rio Bonito. In: Schobbenhaus, C. et al. (eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 2: 451-464.
- Jasper, A., Uhl, D., Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. & Mosbrugger, V. 2008b. Palaeobotanical evidence of wildfires in the Late Palaeozoic of South America – Early Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 26: 435–444.
- Lavina, E.L.C. & Lopes, R.C. 1987. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Subgrupo Tubarão no estado do Rio Grande do Sul. *Paula-Coutiana*, 1: 51-103.
- 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.
- Lenz, G.R. & Maciel, L.A.C. 1983. Mapeamento geológico da área Leão Mariana Pimentel, RS. *Estudos Tecnológicos, Acta Geológica Leopoldensia*, 21: p. 131-144.

- Lopes, R.C., Lavina, E.L.C., Paim, P.S.G. & Goldberg, K. 2003. Controle estratigráfico e deposicional na gênese dos carvões da região do Rio Jacuí (RS). In: Paim, P.S.G., Faccini, U.F., Netto, R.G. (Eds.). Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares: estudos de casos. São Leopoldo, Unisinos, pp. 59-77.
- Maheshwari, H. & Bajpai, U. 2001. Phytostratigraphical succession in the *Glossopteris* Flora of India, *Revista Universidade Guarulhos Geociências*, 6: 22–34.
- Marques-Toigo, M., 1988. *Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil*. Tese de Doutorado, 259 p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Marques-Toigo, M. 1991. Palynobiostratigraphy of the southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence. *7º International Gondwana Symposium (São Paulo) Proceedings*, 503-515.
- Marques-Toigo, M. & Corrêa da Silva, Z.C. 1984. On the origin of gondwanic south Brazilian coal measures. *Comunicações Serviços Geológicos de Portugal*, 70(2): 151-160.
- Marques-Toigo, M., Corrêa da Silva, Z.C. & Herter, G. 1975. Geology and palynology of Candiota Coal mine, RS, Brazil. *1º Congresso Argentino de Paleontologia Y Bioestratigrafia (Tucumán). Actas*, 1:401-427.
- Meyer, K.B. & Marques-Toigo, M. 2001. O significado paleoambiental da microflora dos carvões da Malta IV, Mina de Candiota, RS, Permiano da Bacia do Paraná, Brasil. *Revista da Universidade de Guarulhos*, 5: 16-20.
- 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,
- Milani, E.J. and 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.
- 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.
- Mombach, A.A. & Guerra-Sommer, M. 1990. Articuladas com estruturas reprodutivas preservada no Gondwana sul-brasileiro (Formação Rio Bonito –

- Artinskiano/Kunguriano). *Ciência e Natura* 12: 65-70.
- 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. CO₂-forced climate and vegetation instability during Late Paleozoic deglaciation. *Science*, 315, 87–91.
- Mori, A.L.O. 2010. *Análise palinoestratigráfica de depósitos permianos da Bacia do Paraná no sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: uma nova proposta bioestratigráfica*. Tese de Doutorado, 289 p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Mori, A.L.O. & Souza, P.A. 2010. Palinologia das formações Rio Bonito e Palermo em Candiota, RS, Brasil. *Ameghiniana*, 47(1): 61-78.
- Mori, A.L.O, Souza, P.A., Marques, J.C. & Lopes, R.C. 2011. A new U-Pb zircon age dating and palynological data from a Lower Permian section of the southernmost Paraná Basin, Brazil: biochronostratigraphical and geochronological implications for Gondwana correlations. *Gondwana Research*, (Em impressão).
- Mune, S.E. & Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 2007. Paleoflorística e Bioestratigrafia da Tafloflora de Monte Mor (SP), Subgrupo Itararé, NE da Bacia do Paraná. In: Carvalho, I.; Cassab, R.C.T.; Schwanke, C.; Carvalho, M.A.C.; Fernandes, A.C. S.; Rodrigues, M.A.C.; Carvalho, M.S.S. de; Arai, M. & Oliveira, M.E.Q. (org.). *Paleontologia: Cenários de Vida*. Rio de Janeiro, Interciência. 1:71-82.
- Murphy, M.A. & Salvador, A. 1999. International Stratigraphic Guide - An abridged version. *Episodes*, 22: 255-271.
- Neregato, R. 2007. *Estudo palinológico das Formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto nos furos de sondagem SP-23-PR e SP-58-PR, centro-norte do Paraná (Permiano, Bacia do Paraná)*. Dissertação de Mestrado, 107p. Universidade Estadual Paulista.
- Neregato, R., Souza, P.A. and Rohn, R. 2008. Registros Palinológicos Inéditos nas Formações teresinae Rio do Rasto (Permiano, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná). Implicações biocronoestratigráficas e paleoambientais. *Pesquisas em Geociências*, 35(2): 9-21.
- 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. *1º Simpósio Sul-Brasileiro Geológico, Atas*, p. 121-134.
- Pant, D.D.; Nautiyal, D.D. & Misra, L. 1981. *Giridia indica* gen. et sp. nov. the possible cone of *Phyllothea indica* Bunbury. *Paleontographica Abt. B.*, 176: 174-178.

- 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*, 1: 556-569.
- Petri, S., Coimbra, A.M., Amaral, G. & Ponçano, W.L. 1986. Guia de Nomenclatura Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(4): 376-415
- Picarelli, A.T., Dias-Frabcio, M.E. & Cazzulo-Klepzig, M. 1987. Considerações sobre a paleoecologia e a plinologia da jazida carbonífera de Santa Terezinha, RS, Brasil – Permiano da Bacia do Paraná. *3º Simpósio Brasileiro de Geologia (Curitiba). Actas*, 1: 351-372.
- Picarelli, A.T & Marques-Toigo, M. 1985. Estudos palinológicos das camadas de carvão S2 e I na sondagem D112, minas do Leão, RS, Brasil. *8º Congresso Brasileiro de Paleontologia (Rio de Janeiro). Actas*, 2: 409-418.
- 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*, 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.
- Pimentel, G.B & Godoy, H.K. 1983. Projeto na área Leão - Mariana Pimentel, RS. Relatório Interno. DNPM – CPRM. 154p.
- Pinheiro, E.R.S. Iannuzzi, R. & Tybusch, G.P. Specificity of leaf damage in the Permian "Glossopteris Flora": a quantitative approach. *Review of Paleobotany and Palinology*, submetido.
- Quadros, L.P. & Melo, J.H.G. 1987. Método prático de preparação palinológica em sedimentos pré-mesozóicos. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 1(2): 205-214.
- Retallack, G.J. 1980. Late Carboniferous to Middle Triassic megafossil floras from the Sydney Basin. *Bulletin of the Geological Survey of New South Wales*, 26: 385-430.
- Ribeiro, G.V.B. 1987. Correlação estratigráfica entre três bacias carboníferas do Paleovale Leão-Mariana Pimentel (RS). *3º Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia (Curitiba). Resumos expandidos*, 335-349.
- 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.
- 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. & Rösler, O. 2000. Middle to Upper Permian phytostратigraphy of the eastern Paraná Basin. *Revista da Universidade Guarulhos Geociências*, 5(nº especial): 69-73.
- Rösler, O. 1978. The Brazilian eogondwanic floral successions. *Boletim do IG-USP*, 9: 85-91.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Silveira, A.S. 2000. Estratigrafia de Seqüências e Evolução Paleambiental 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): 311-322.
- 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.

- Souza, J.M. & Iannuzzi, R. 2011. Dispersal syndromes of fossil seeds from Lower Permian of Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (em impressão).
- Souza, P.A. 2006. Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 138: 9-29.
- Souza, P.A. & Marques-Toigo, M., 2001. Zona *Vittatina*: marco palinoestratigráfico do Permiano Inferior da Bacia do Paraná. *Ciência Técnica do Petróleo, Sec., Expl. Petr.*, 20: 153–159.
- 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 Naturales*, 5: 205-214.
- Souza, P.A., and 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 Ciências*, 77(2): 353-365.
- Souza, P.A. & Milani, E.J. 2007. O pioneirismo do zoneamento palinoestratigráfico de Daemon e Quadros (1970): um marco no conhecimento estratigráfico da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15: 118-130.
- Souza, P.A., Vergel, M.M & Beri, A. 2007. Pennsylvanian and Permian Palynostratigraphy of the Paraná/Chacoparaná Basins in Brazil, Argentina and Uruguay: an integrative analysis. *In: Díaz-Martínez, E. and Rábano, I. 4^o European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin American. Cuadernos del Museo Geominero*, 8: 361-366.
- Stewart, W.N. & Rothwell, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. 1^a ed. Cambridge University Press, 521 p.
- 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. Avaliação das folhas de *Glossopteris* da Mina do Faxinal, RS (Permiano Inferior, Bacia do Paraná). (Em preparação).
- Vergel, M.M. 1993. Palinoestratigrafía de la secuencia neopaleozoica en la Cuenca Chacoparanense, Argentina. *12º Congrès International de la Stratigraphie et Geologie du Carbonifere et Permien* (Buenos Aires). *Comptes Rendus*, 1: 201-212.
- 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.
- Vieira, C.E.L., Iannuzzi, R. & Guerra-Sommer, M. 2000. 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. 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).
- Ybert, J.P. 1975. Etude des miospores du bassin houiller de Candiota-Hulha Negra, Rio Grande do Sul, Bresil. *Pesquisas*, 5: 181-226.
- Zeiller R. 1895. 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.

PARTE II

Corpo principal da tese

Manuscritos publicados ou submetidos em forma de artigo científico ou capítulo de livro

Capítulo 1

“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, L. *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
gracielaytybusch@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 Sakmario - 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 taoflora 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 to 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 Sakmario - 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 gonduânicas.

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 megaflores e cujo foco sejam as unidades do Permiano Inferior.

Um fitozonamento formal foi proposto por Guerra-Sommer e Cazzulo-Klepzig (1993) para o Estado do Rio Grande do Sul, a partir de megaflores 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 *Phyllotheca 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 fitoflores 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 seção 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,

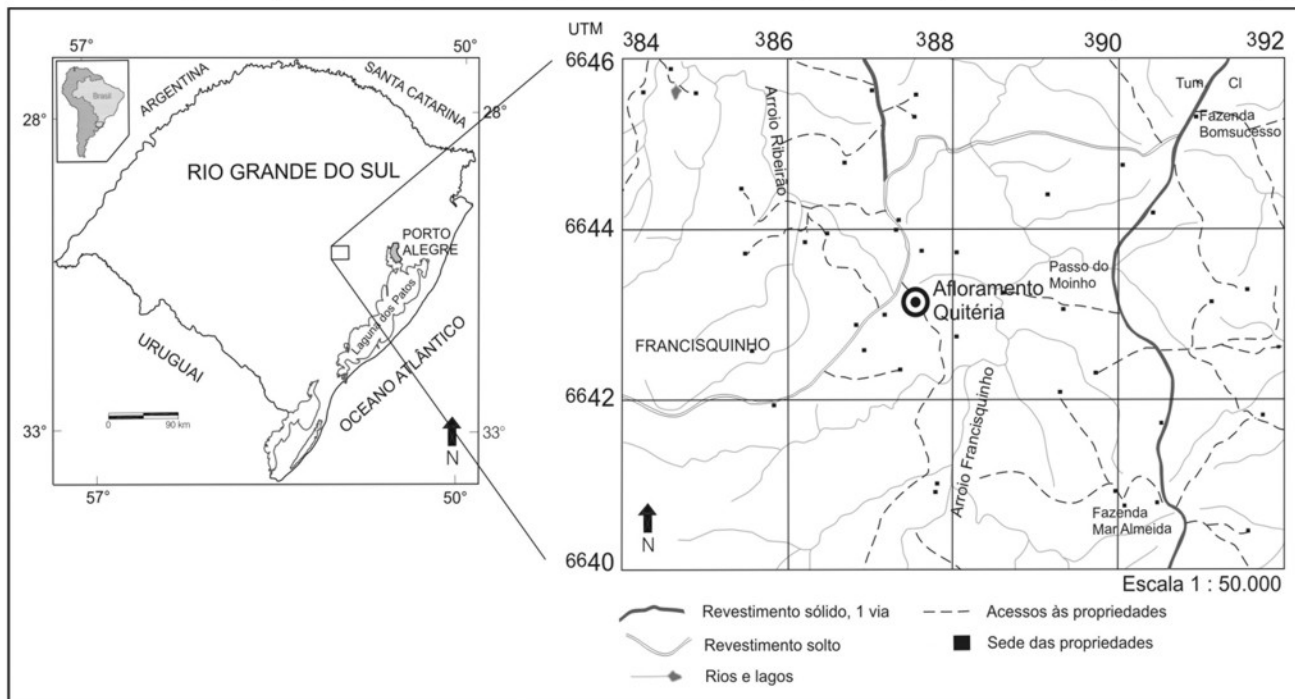


Figura 1. Mapa de localização do afloramento Quitéria (modificado da Folha Quitéria, SH.22-Y-B-I-4; MI-2985/4).
 Figure 1. Location map of the Quitéria Outcrop (modified from the Quitéria topographic sheet, SH.22-Y-B-I-4; MI-2985/4).

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, leptoflicas, nanoflicas, microflicas, notoflicas, mesoflicas, macroflicas e megaflicas. 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 sedimentitos 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 Gymnospermac e faltam

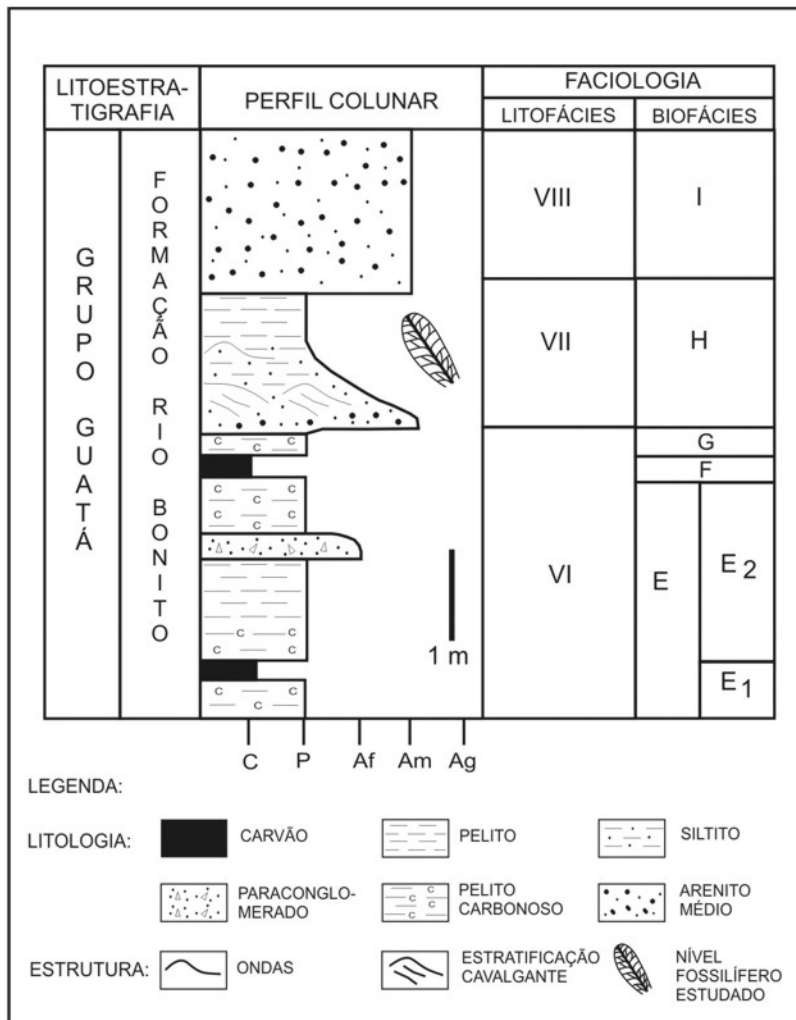


Figura 2. Perfil do afloramento Quitéria (lito e bioestratigrafia modificada de Piccoli *et al.*, 1991).

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 *Phyllotheba 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 *Coriocladius 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>Coriocladius 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.

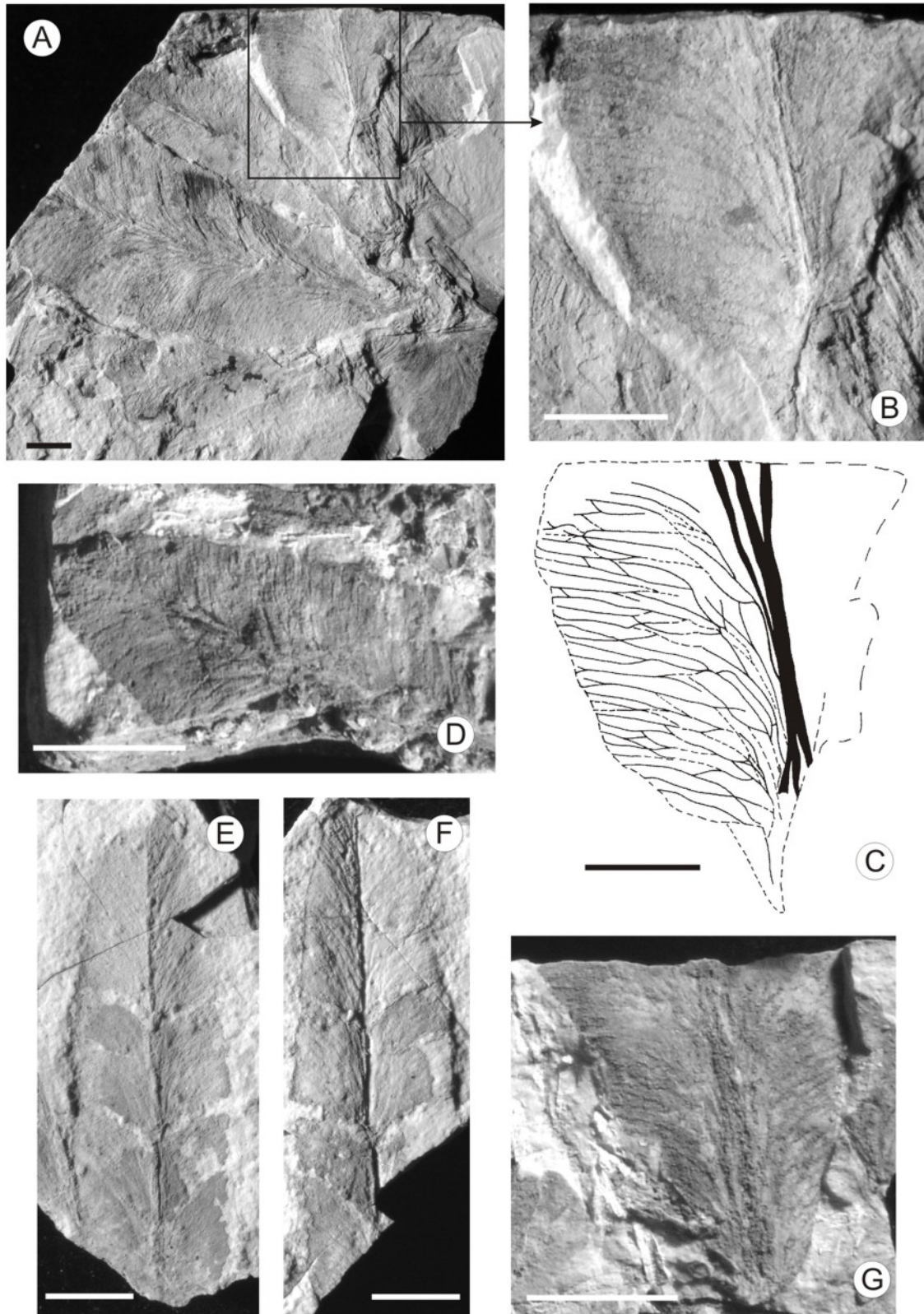


Figura 3. *Glossopteris browniana* Brongniart. A. UMVT 5175b, ramo com sete folhas conectadas, aparentemente, em forma de roseta; B. UMVT 5175b E, detalhe da venação; C. Desenho da venação do mesmo exemplar ilustrado em B; D. UMVT 5166a, região apical de uma folha; E-F. UMVT 5181ab, limbo foliar oblanceolado 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. schopffii* (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 Sakmiano 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 baixos desta seção e estende a distribuição deste táxon. A nova ocorrência permite indicar a equivalência temporal entre a Zona de *Glossopteris/Rhodoopteridium* 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 Sakmiano - 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 DNPm*, 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 paleoformas das camadas associadas a carvões no Rio Grande do Sul. *Ciência e Ambiente*, **10**:63-77.
- GUERRA-SOMMER, M. e CAZZULO-KLEPZIG, M. 1993. Bioestigraphy of the Southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence: a preliminary paleobotanical approach. In: CONGRÈS 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 Lycophyta 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 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, 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 arbóreas do afloramento Quitéria—Formação Rio Bonito (bacia do Paraná), RS. *Pesquisas*, **25**:43-60.
- JASPER, A. e GUERRA-SOMMER, M. 1999. Licófitas arbóreas *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. *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, 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 Zambezi 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: CONGRESSO ARGENTINO DE PALEONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA, 2/CONGRESSO 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 seqüência 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

Capítulo 2

“Presence of the genus *Giridia* in the Paraná Basin (Lower Permian, Rio Bonito Formation)”.

Boardman, D.R. & Iannuzzi, R. *Revista Brasileira de Paleontologia* 13(1): 5-12. 2010.

PRESENCE OF THE GENUS *GIRIDIA*, SPHENOPHYTE, IN THE PARANÁ BASIN (LOWER PERMIAN, RIO BONITO FORMATION)

DAIANA ROCKENBACH BOARDMAN & ROBERTO IANNUZZI

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

ABSTRACT – The Bainha Outcrop, located in the Municipality of Criciúma, Santa Catarina State, corresponds to deposits of the “Irapuá Bed,” Rio Bonito Formation, and it is considered one of the richest phytofossiliferous sites of the Paraná Basin, representative of the “*Glossopteris* Flora.” However, the Sphenophytes are poorly represented in this taphoflora. In this contribution, some so far unpublished samples are analyzed, which allowed us to confirm, for the first time, the occurrence of the Indian morphogenus *Giridia* in the Lower Permian of the Basin. Two distinct morphotypes are considered. One is related to the type-species of the genus, referred to herein as *Giridia indica* and found only at the Bainha Outcrop. The other is described as a new species, *Giridia quiteriensis* sp. nov., recorded at both Bainha and Quitéria outcrops, the latter located in the municipality of Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul State. The second morphotype corresponds to the material classified previously as *Gondwanostachys australis*, which was revised herein. Therefore, this is the first record of the genus *Giridia* outside India, which reinforces the relative floristic similarities between Indian and South American regions of Gondwana during the Early Permian.

Key words: Sphenophyte, *Giridia*, Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Southern Brazil.

RESUMO – O afloramento Bainha, situado no município de Criciúma, SC, corresponde a depósitos da “Camada Irapuá”, Formação Rio Bonito, é considerado um dos mais ricos sítios fitofossilíferos da bacia do Paraná, representativo da “Flora *Glossopteris*”. Apesar disso, as esfenófitas são pouco representativas nesta tafoflora. Neste trabalho são analisados alguns exemplares até o momento inéditos que possibilitaram confirmar, pela primeira vez, a ocorrência do morfôgênero indiano *Giridia* para os depósitos do Permiano Inferior da bacia. Trata-se de dois morfotipos distintos, um considerado afim à espécie tipo do gênero, classificado aqui como *Giridia indica* e presente apenas no afloramento Bainha, o outro descrito como uma nova espécie, *Giridia quiteriensis* sp. nov., registrado nos afloramentos Bainha e Quitéria, em Encruzilhada do Sul, RS. Este último corresponde ao material anteriormente classificado como *Gondwanostachys australis* que foi aqui reavaliado. Deste modo, este é o primeiro registro do gênero *Giridia* fora do território indiano, estreitando ainda mais a afinidade entre as floras gonduânicas da Península Índica e do continente sul-americano.

Palavras-chave: Sphenophyte, *Giridia*, Permiano Inferior, Formação Rio Bonito, bacia do Paraná, Sul do Brasil.

INTRODUCTION

The Bainha Outcrop, located in the municipality of Criciúma, Santa Catarina State (Figure 1), corresponds to deposits of the “Irapuá Bed”, third coal bed of the Siderópolis Member, upper portion of the Rio Bonito Formation, middle-upper portion of the Tubarão Group (Figure 2), and it is considered one of the richest fossil plant sites in the Paraná Basin. This outcrop, and some nearby localities (Bairro 20, Hospital and São Marcos outcrops), have been studied since the mid-1940s, showing a diversified megaf flora composed of axis fragments, leaves and reproductive structures, these mainly referring to the *Glossopteris* group, and seeds, all usually preserved as impressions/compressions (Dolianiti, 1946, 1948, 1952, 1953a-c, 1954a,b, 1956a,b, 1971; Barbosa, 1958; Millan, 1967a,b, 1969a,b, 1971; Yoshida, 1966, 1968; Rigby, 1969a,b, 1972a,b; Bernardes-de-Oliveira, 1969, 1977, 1978, 1980a,b, 1988; Bernardes-de-Oliveira & Carvalho, 1981; Bernardes-de-Oliveira & Pontes, 1977; Bernardes-de-Oliveira & Yoshida,

1982). This locality is representative of the typical post-glacial gondwanic flora, “*Glossopteris* Flora”, associated with coal deposits, and it is of great importance in the understanding of the depositional environments and the coal-generating processes of the “Irapuá Bed”, besides having contributed, together with other like sites in austral continents, to proving the existence of the ancient “Gondwana Continent” (Iannuzzi, 2002). However, the sphenophyte group is rare in this association, being represented by a few specimens of *Notocalamites askosus* (Rigby, 1972a), *Paracalamites australis* Rigby, 1966, *Phyllothea australis* Brongniart, 1828, *Phyllothea griesbachii* Zeiller, 1902 and only one described sample, until this research, with some doubt, as (?) Sphenophyta fructification (Bernardes de Oliveira, 1977, 1988).

Recently, technical visits by the senior author to the major repositing collections of material from the Bainha Outcrop and nearby localities, namely Instituto de Geociências of the Universidade de São Paulo (IG-USP), 9th District of the Depar-

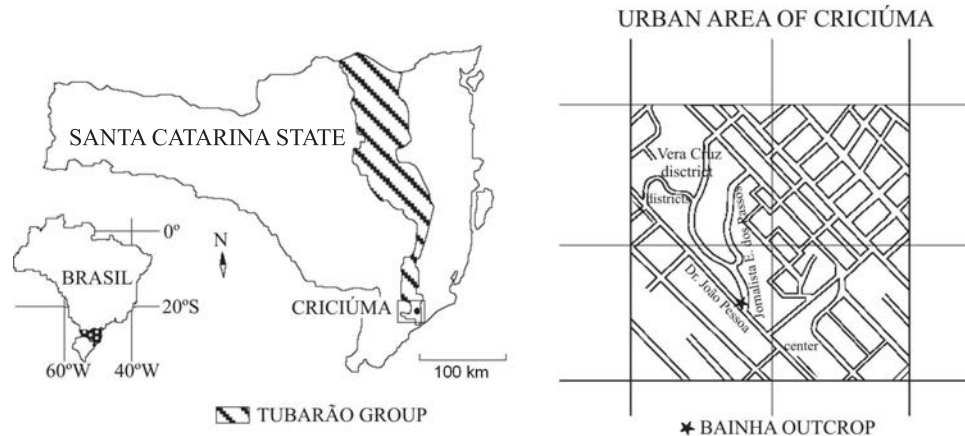


Figure 1. Location map of the Bainha Outcrop, Santa Catarina State (from Iannuzzi, 2002).

tamento Nacional de Produção Mineral (DNPM-RJ) and Museu Nacional (MN-UFRJ), besides the examination of the material from the Paleobotanical Collection of the Departamento de Paleontologia e Estratigrafia at the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DPE/UFRGS), allowed us not only to locate the possible Sphenopsida fructification mentioned by Bernardes-de-Oliveira (1977, 1988) but also to find some unpublished specimens such as this last one from the Bainha Outcrop. This has allowed the confirmation of the presence of two other types of reproductive structures typical of sphenophytes in this megafloora, besides the one already described, *Notocalamites askosus* (Rigby, 1972a). Therefore, the specimens classified by Guerra-Sommer *et al.* (1995) as *Gondwanostachys australis*, from the Quitéria Outcrop, top of the Rio Bonito Formation at Rio Grande do Sul State were also used since they showed a close likeness to one of the detected forms.

MATERIAL AND METHODS

The material studied is composed of seven specimens, relatively well preserved as adpressions, three of them showing parts and counterparts, where they are repositated at IG-USP (specimen GP/3T 195, mentioned by Bernardes-de-Oliveira, 1977, 1988), DNPM-RJ (five specimens, DGM-Pb 793, 794/803, 798/805, 801 and 807ab) and DPE-UFRGS (specimen MP-Pb 403). The material described and published by Guerra-Sommer *et al.* (1995), repositated at DPE-UFRGS, was totally revised.

The taxonomic study of the material was carried out by examination with the naked eye and a stereoscopic microscope (Magnifier Wild, Model M5-86360), and using high-quality photographs, obtained with and without immersion in alcohol, in order to highlight the details, from which the measurements were made with a vernier caliper and the specimens described. The suprageneric systematic used in this research follows the one of Stewart & Rothwell (1993). In order to describe and compare the analyzed specimens, an extensive gathering of the characteristics used by different authors in the study of reproductive structures of the Sphenopsida group was carried out. Thus, the following characteristics were selected: general dimensions, organization of the reproductive system (arrangement of the fertile regions along the axes), type of sporangiophore, and kind of leaf whorl associated with the type of axis.

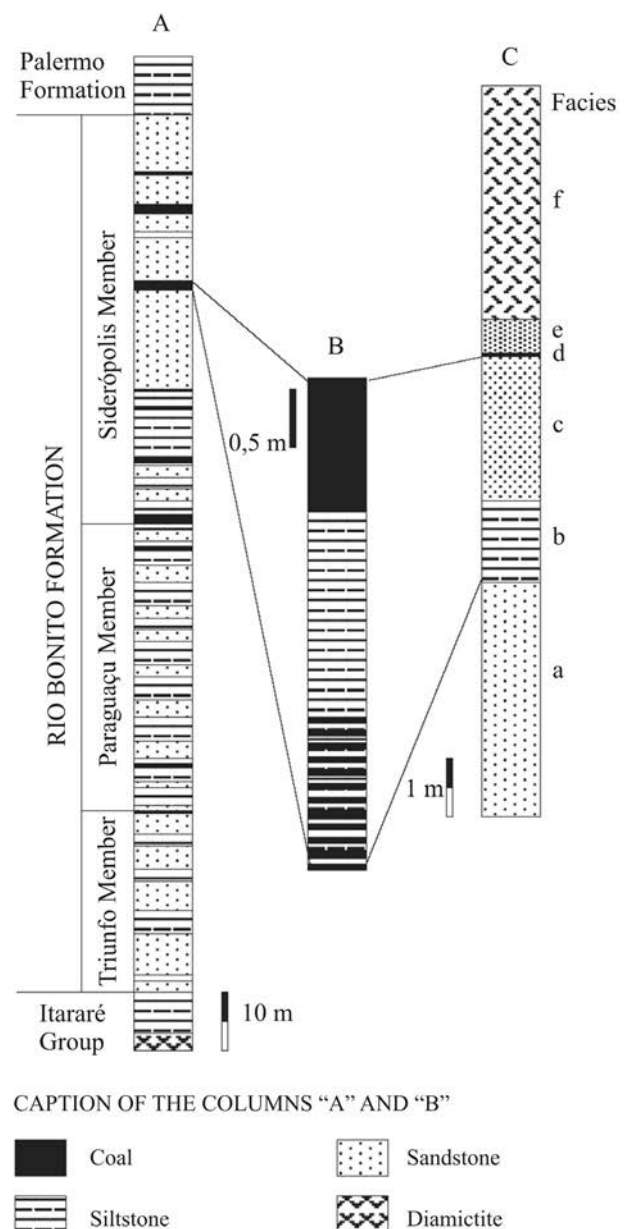


Figure 2. Stratigraphic sections of the: **A**, Rio Bonito Formation; **B**, Irapuá Coal Bed; **C**, Bainha Outcrop, in coal region of Criciúma (based on Iannuzzi, 2002a,b).

SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

The analysis of the material studied allowed us to classify the two morphospecies found as belonging to the genus *Giridia*, of the Giridih coalfield, Karharbari stage, Lower Permian of India. The reproductive structure previously described as (?) Sphenophyta fruiting (Bernardes-de-Oliveira, 1977, 1988), along with five other unpublished specimens, was classified as the type-species of the genus, *Giridia indica* Pant, Nautiyal, Misra, 1981. The other form found allowed the proposal of a new species for the genus, since it proved to be like the material from the Quitéria Outcrop, at Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul State, which shows a better preservation and has been previously described as *Gondwanostachys australis* (Guerra-Sommer *et al.* 1995).

Division TRACHEOPHYTA

Class SPHENOPSIDA

Order EQUISETALES

Family PHYLLOTHEACEAE

Genus *Giridia* Pant, Nautiyal & Misra, 1981

Type-species. *Giridia indica* Pant, Nautiyal & Misra, 1981.

Giridia indica Pant, Nautiyal & Misra, 1981
(Figure 3)

1988 (?) Sphenophyta fructification Bernardes-de-Oliveira, p. 54-55, est. II, fig. 5.

Specimens studied. GP/3T 195, DGM-Pb 793, 794ab/803 (parts and counterparts), 798ab/805 (parts and counterparts), 801, 807ab.

Description. The material studied comprises six fragments of reproductive portions of Sphenophyta, three of them composed of parts and counterparts that show a good preservation as adpressions. The specimens are constituted by striated axis fragments that can be longer than 80 mm (DGM-Pb 794, Figure 3A), divided into nodes and internodes, with the fertile portions inserted in the nodal regions, right below the leaf whorl (Figures 3A-D). The internodes show a width/length ratio between 1:2.6 and 1:4.3. The leaves start at the node and are fused at the base, forming a short sheath, and at their free part is a lanceolate with an acute apex (DGM-Pb 807ab, GP/3T 195, DGM-Pb 801, Figures 3B-D). There are, from what can be observed, up to nine leaves by leaf whorl, taking into account the fragmented state of the specimens.

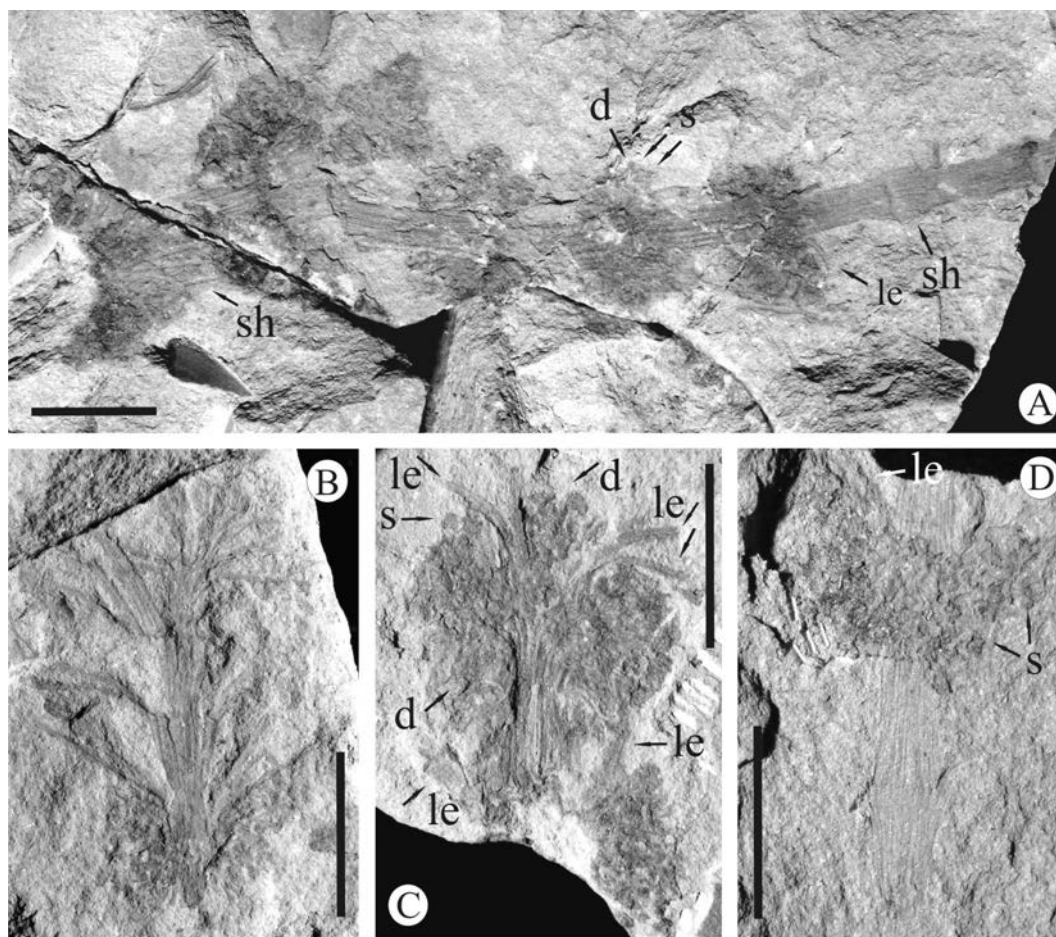


Figure 3. *Giridia indica* Pant, Nautiyal & Misra, 1981. **A**, DGM 794ab, general view of the reproductive system, showing the organization of sporangiophores inserted at the nodes, immediately below the leaf whorls; **B**, DGM 807ab, distal portion of the fertile axis with a fertile node and other three vegetative nodes, where it is possible to observe a short sheath and the free portion of leaflet; **C**, GP/3T 195, two fertile nodes with apparent free portion of leaflets; **D**, DGM 801, fertile axis with clear ribs and apparent free portion of leaflet. **Abbreviations:** **d**, bifurcation of the sporangia-bearing sporangiophores; **le**, free portion of leaflets; **s**, sporangiophores; **sh**, sheath. Scale bars = 10 mm.

The reproductive branches have up to five fertile regions distributed in the medium portion of the axes, extending almost to the apex, sometimes showing internodes with (DGM-Pb 807ab, Figure 3B) or without (DGM-Pb 794ab, Figura 3A) leaf whorls and lacking reproductive structures in the most distal vegetative portions. The fertile regions form dense masses of dichotomized branched sporangiophores which due to their dense arrangement allow only the visualization of the more distal bifurcation (GP/3T 195, Figure 3C). The individual sporangia are round in shape to slightly oval, with diameter varying from 0.9 to 1.5 mm, and are connected to the ends of the bifurcated stalks of the sporangiophores (Figure 3C).

Discussion. The specimens studied show a general organization of the reproductive system with whorls of sporangiophores inserted at the node, immediately below the leaf whorls, in the upper parts of the internodes. This kind of organization differs from that of *Phyllothea australis* Brongniart, 1828 emend. Townrow (1955), later on treated informally as *Gondwanostachys australis* by Meyen (1967), which shows the sporangiophores connected to the leaf whorl at the basal or lower portion of the internode, which is above the leaf whorl. They differ also from the *Notocalamites askosus* Rigby (1972a), *Pothocites benavidese* Dower (1999; illustrated in Iannuzzi *et al.* 1998) and *Peltotheca furcata* Escapa & Cúneo (2005) since they do not show sporangiophores along the whole internode. On the other hand, the organization of the reproductive system of the forms analyzed here is similar to that of other fertile forms of Sphenopsida, such as *Giridia indica* of Pant *et al.* (1981), *Gondwanites subtilis* of Césari & Loinaze (2006) and the species classified as *Cruciaetheca* of Cúneo & Escapa (2006).

The sporangiophores found in the material studied, apparently many times bifurcated, form clusters with individual sporangia connected to the stalks of the last bifurcation. It thereby differs from the three described species for *Cruciaetheca* Cúneo & Escapa (2006) that show each one of its sporangiophores composed of only one stalk connected directly to the axis, where four sporangia inserted in the distal portion form a cross, as well as from the *Gondwanites subtilis* (Césari & Loinaze, 2006), a species in which the sporangiophore is composed of a simple terminal sporangium also connected by only one stalk directly to the axis. On the other hand, this kind of structure of the sporangiophore, found in the material studied, shows the same characteristics found in *Giridia indica*.

Thus, the similarities observed both in the organization of the reproductive system and the type of sporangiophore allow us to include the studied specimens in the genus *Giridia*. Besides, the shape of the leaves at their free part are lanceolate with an acute apex and the formation of a short leaf sheath along the node are other features that approximate our specimens to the *Giridia indica*. It is worth noting that both the Indian and the Brazilian specimens lack sufficient detail, and thus, it is necessary to study new specimens in order to elucidate the structure of the dense mass of sporangiophores that remain imprecise.

Giridia quiteriensis sp. nov.
(Figures 4-5)

1995 *Gondwanostachys australis* (Meyen). Guerra-Sommer, Cazzulo-Klepzig & Marques-Toigo, p. 70-72, lâms. 1-2.

Holotype. MP-Pb 2863.

Paratypes. MP-Pb 403, 2864, 2874.

Described specimen. MP-Pb 403.

Revised material. MP-Pb 2863; 2864; 2874.

Type-locality and type-horizon. Quitéria Outcrop, Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul State; Rio Bonito Formation, Paraná Basin.

Other localities and horizon. Bainha Outcrop, Criciúma, Santa Catarina State; "Irapuá" Bed of the Siderópolis Member, Rio Bonito Formation, Paraná Basin.

Etymology. The name refers to the Quitéria Outcrop, at Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul State, where the better preserved specimens of the species are found, which were published for the first time under another designation.

Diagnosis. Ribbed axes with nodes and internodes that bear *Phyllothea*-type leaf whorls forming a prominent and rigid sheath curved downwards with whorls of sporangiophores inserted immediately below the leaf whorls. Each sporangiophore whorl is formed of the stalks several times dichotomized, ending in single sporangia. Sporangia are single, rounded to slightly oval in shape, connected to terminal stalks. If preserved, there are *Calamospora*-type miospores.

Description. The specimen studied, MP-Pb 403, consists of a fragment of the reproductive portion of sphenophyta, preserved as adpression (Figures 4A-B). The fertile axis is composed of a striated axis with a length of 45 mm and, on average, 4.3 mm wide, with two clear node regions showing a width/length ratio of 1:4.4. In this specimen it is possible to visualize only one node region with whorl of sporangiophore inserted directly below the leaf whorl (Figures 4A-B). The leaf whorls start fused at the node regions forming an extensive sheath of a coriaceous aspect, recurved towards the basal portion of the axis, where the basal portion of each leaflet is easily individualized through a line of leaf lamina union or fusion. The free part of the whorls is not very clear, but it is possible to observe that they are directed from the sheath to the basal portion of the stalk. The fertile region, located right below the node, forms only one whorl composed of a dense mass of sporangiophores, whose axes apparently have multiple ramifications, which, due to its dense arrangement, allow us to observe only the most distal bifurcations of this system. The sporangia are individual, round to slightly oval in shape, with diameters from 0.9 to 1.6 mm, and are connected to the ends of the bifurcated stalks of the sporangiophores (Figure 4B).

Remarks. The material described here, MP-Pb 403, comes from the Bainha Outcrop, at Criciúma, Santa Catarina State, but has proven to be extremely similar to the fertile specimens described in 1995 by Guerra-Sommer *et al.* as *Gondwanostachys australis*, from the Quitéria Outcrop at Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul State, as illustrated in plates 1 and 2 of that paper. In examining this specimen already described, it is verified that these show characteristics very similar to those found in the material from Bainha, in the organization of the reproductive system, in the type of sporangiophores, in the type and length of the sheath and in the overall dimensions of the specimens (Figures 5A-D). However, these features were not described by the authors (p. 68 and 72).

Actually, throughout the description of the *Gondwanostachys australis*, some characteristics mentioned by Guerra-Sommer *et al.* (1995) are not in line with what is observed in the illustrations (1995, lâm. 1, fig. a-d) or directly

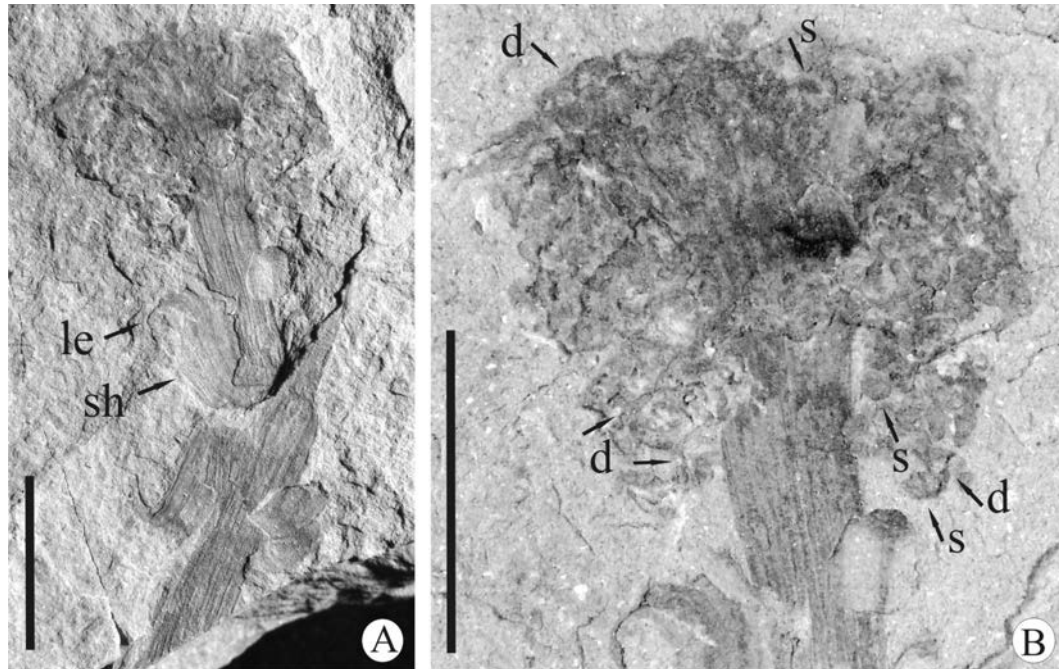


Figure 4. *Giridia quiteriensis* sp. nov., from the Bainha Outcrop. **A**, MP-Pb 403, general view of the reproductive system, showing the organization of fertile region densely arranged with sporangiophores inserted at the node, immediately below the leaf whorls, and a node with a leaf whorl in which it is possible to observe a prominent and rigid (coriaceous) sheath; **B**, detail of A, showing clear bifurcation of the sporangia-bearing sporangiophores. **Abbreviations:** **d**, bifurcation of the sporangia-bearing sporangiophores; **le**, free portion of leaflets; **s**, sporangiophores; **sh**, sheath. Scale bars = 10 mm.

in the material itself. It is mentioned in the text the term strobilus or strobilus axis while it is clearly a non-strobilar reproductive structure, made up of an articulated axis with several fertile regions along these axes. The authors describe yet that the sporangiophores start at the lowermost portion of the internode, which means, right above the node from where the leaf whorl emerges. However, this kind of structure is very well illustrated by Meyen (1987, fig. 28b) and Boureau (1964) to designate the species *Phyllothea* (= *Gondwanostachys australis* of Townrow (1955), not occurring in the material of the Quitéria outcrop, in which the whorl of sporangiophores starts right below the very well-noted node, from where the leaf whorl emerges as a sheath curving towards the base of the axis, as if forming a protective canopy for the whorl of sporangiophores located right below (Figures 5C-D; Guerra-Sommer *et al.*, 1995, pl. 1, figs. b-c). Finally, these authors describe a fertile region as having unique axes of sporangiophores that subdivide the originating peltate structures bearing elongated and anathropous sporangia (Guerra-Sommer *et al.*, 1995, p. 68 and 72). The direct observation of the specimens revealed that it is impossible to elucidate the structuring of the subdividing system of the sporangiophores in the fertile whorl, since it is formed by a dense mass of almost shapeless sporangiophores. What can be realized is that the sporangiophores apparently display multiple subdivisions, which, due to its dense arrangement, only allows viewing of the more distal bifurcations of this system. These last order bifurcations bear simple terminal sporangia without any peltate structure (Figures 5B-D). This same incompatibility between the original description of the material of the *Gondwanostachys australis* made by Guerra-Sommer *et al.* (1995) and what the illustrations of the specimens showed in the paper had already been noticed by Cúneo & Escapa (2006), who

thereby raised the possibility of this material belonging to the genus *Giridia* or *Cruciaetheca* or even a new genus.

Thus, the description of the fertile portion of the material coming from the Quitéria Outcrop (Guerra-Sommer *et al.*, 1995) is actually compatible with the above description for the specimen MP-Pb 403. The dimensions of the vegetative portions of the axes and branches published by Guerra-Sommer *et al.* (1995) are in accordance with what has been directly observed in the specimens described by those authors. However, there is no mention of the dimensions of the sporangia. In observing the specimens, the authors of this paper were able to measure a few final oval-shaped sporangia (6), and obtained diameters of 0.7 to 1.2 mm, which are, on average, a little smaller than those obtained for the specimen MP-Pb 403 (between 0.9 and 1.6 mm). Given the degree of compression, distortion and denseness of the fertile portions of the overall specimens, there is no way to obtain more conclusive measures, and thus, the difference is considered of minor importance. Therefore, it is concluded that both materials, the one from Bainha and the one from Quitéria, belong to the same morphotype or taxon-form.

Discussion. The specimens from Bainha and Quitéria, according to the descriptions above and the prior discussion about *Giridia indica*, undoubtedly correspond to the genus *Giridia*, since they have their fertile regions are located right below the node, formed by a dense mass of subdivided sporangiophores that support simple terminal sporangia at the more distal bifurcations of this system.

In this sense, the material of Guerra-Sommer *et al.* (1995) should inevitably be recombined in *Giridia*. However, it is worth noting that, when describing the specimens as *Gondwanostachys australis*, Guerra-Sommer *et al.* (1995) proposed an emendation to the original diagnosis of the genus-species *Gondwanostachys australis*, attributed by the

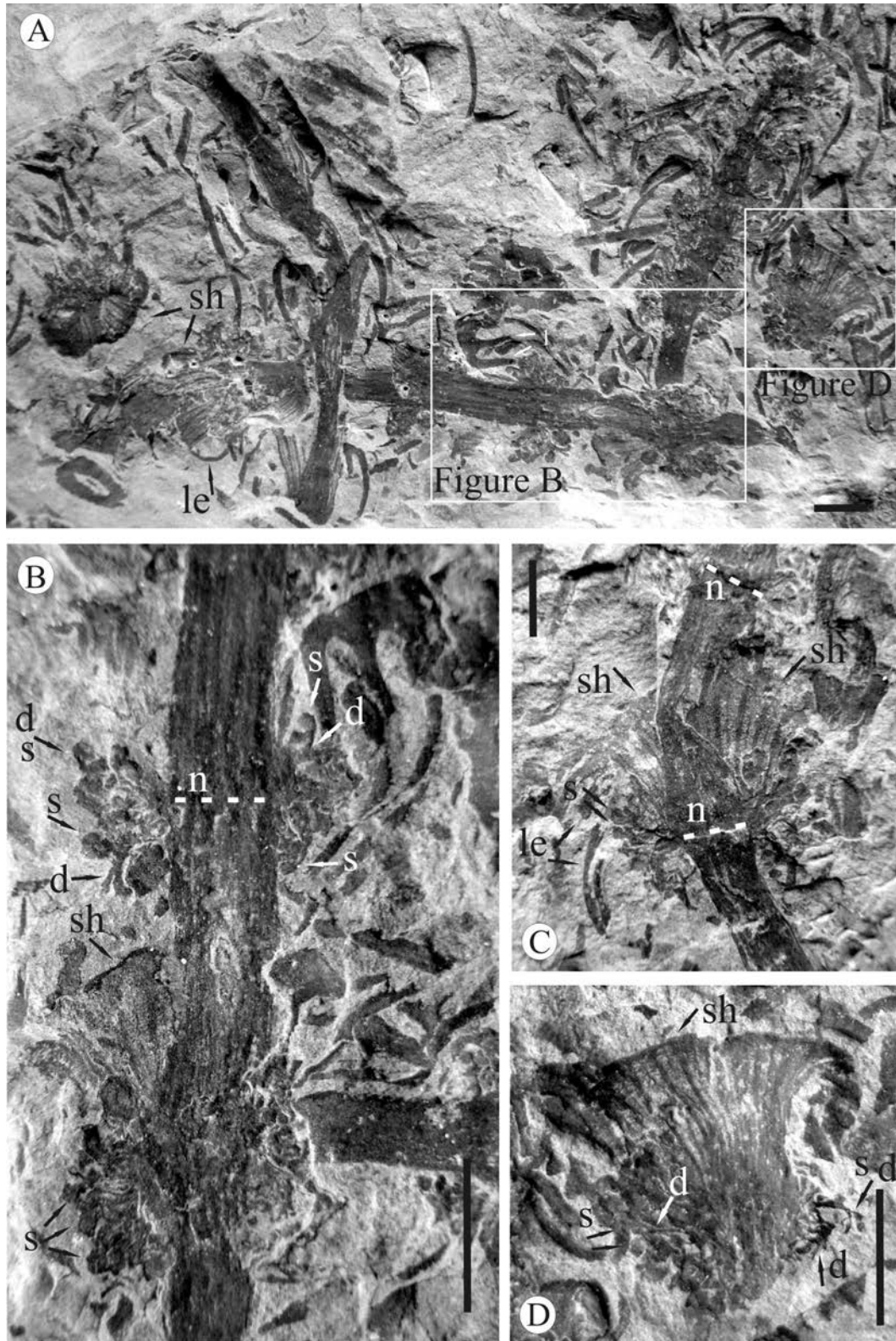


Figure 5. *Girdia quiteriensis* sp. nov., from the Quitéria Outcrop. **A**, MP-Pb 2863 (holotype), several specimens in which it is possible to observe the general view of the reproductive system, showing the organization of sporangiophores inserted at the node, immediately below the leaf whorls that are composed of prominent and rigid (coriaceous) sheaths; it is also possible to observe free portions of leaflets, curved towards the basal parts of the axes; **B-D**, details of specimens shown in A, showing the most distal bifurcations of the sporangia-bearing sporangiophores, the prominent and curved sheaths and free portions of leaflets, diagnostic features of this species. **Abbreviations:** **d**, distal bifurcation of the sporangia-bearing sporangiophores; **le**, free portion of leaflets; **n**, node; **s**, sporangiophores; **sh**, sheath. Scale bars = A and B, 10 mm; C and D, 5 mm.

authors to S.V. Meyen. The epithet *Gondwanostachys* has been informally used before by Meyen (1967) to designate the fertile portions of *Phyllothea australis* described by Townrow (1955) for forms of the Upper Carboniferous from Australia. Thus, Meyen (1967) never formally erected the genus *Gondwanostachys* through a description or a diagnosis that would actually correspond to the species *Phyllothea australis* as originally established by Townrow (1955). Guerra-Sommer *et al.* (1995), in turn, have justified their emendation to a supposed diagnosis assigned to Meyen (1967) by the fact that they had extracted *Calamospora*-type spores from some sporangia in their material. However, there is no way to emend a diagnosis that has not been formalized by its probable author, in this case, S. V. Meyen. Actually, the only possible emendation would be proposed to the diagnosis originally established by Townrow (1955). Therefore, Guerra-Sommer *et al.* (1995) should not have emended something that had not been formally proposed. In this case, they could be, at best, considered as the formal authors for the genus-species *Gondwanostachys australis*, if their propositions (description and diagnosis) were also considered to be valid (it has been seen in the previous item, observations), making it hard to emend the diagnosis proposed by Guerra-Sommer *et al.* (1995). On the other hand, when emending the diagnosis for *Gondwanostachys australis*, Guerra-Sommer *et al.* (1995) considered as holotype the specimen described by Townrow (1955) for Australia, which has been determined herein as totally different (see item Discussion in *Giridia indica*), in terms of its fertile structure, from the Brazilian material attributed to *Gondwanostachys australis* by the authors.

In conclusion, the taxonomic proposition of Guerra-Sommer *et al.* (1995) is not considered valid, since on the one hand, it is based on an inappropriate description of the analyzed material, and on the other hand, it refers to a form (Australian one) very different from the Brazilian material, supposedly co-specific to the type-material of *Gondwanostachys australis*. Thus, the option stated here is to transfer all the fertile material described by Guerra-Sommer *et al.* (1995), as *Gondwanostachys australis*, along with the Bainha specimen, to a new taxon called *Giridia quiteriensis* sp. nov.. This new species is distinguished from the type-species of the genus, *Giridia indica*, basically by having the leaf whorls fused at the base forming better developed sheaths with a coriaceous aspect, which curve towards the fertile portions, apparently, forming a protective canopy. These sheaths are so distinct that they allowed, for example, the clear visualization of the central vein of each leaflet, as well as the lines of lamina union that border each leaflet. This characteristic feature permitted the classification of the forms from Bainha and Quitéria as a new species. The occurrence of *Calamospora*-type spores, detected by Guerra-Sommer *et al.* (1995) in the material from Quitéria, was incorporated as one of the possible diagnostic characteristics for *Giridia quiteriensis* sp. nov.

FINAL CONSIDERATIONS

The unpublished material referring to the reproductive structures of the Sphenopsida from the Bainha Outcrop, at Criciúma, Santa Catarina State, allowed us to complement the

description initiated in the 1980s by Bernardes-de-Oliveira (1988), classifying the material, initially designated (?)Sphenophyta fructification, as *Giridia indica* Pant *et al.* (1981). On the other hand, the analysis of an unpublished specimen from the Bainha Outcrop has led to a reevaluation of the material described by Guerra-Sommer *et al.* (1995) as *Gondwanostachys australis* from the Quitéria Outcrop, at Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul State. All this material was considered a new species related to the genus *Giridia*, named *Giridia quiteriensis* sp. nov. Thus, for the first time forms related to the Indian genus *Giridia* are recorded in the Paraná Basin. This is also the first record of this genus outside the Indian Subcontinent, which clarifies even more the relationships between Early Permian Gondwanic floras from South America and India.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Luiz F. Lopez (IGeo-UFRGS) for the preparation of the photographic material, and the Instituto de Geociências of the Universidade de São Paulo (IG-USP) and the 9th District of the Departamento Nacional de Produção Mineral (Brazilian Geological Survey - DNPM-RJ) for lending the material from the Bainha Outcrop for the development of this research. The authors are also grateful to Graciela P. Tybusch who took part in the overall search for this material in the institutional collections. This research was financially supported by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) in the form of a scholarship (Process 140631-2006/2) awarded to the senior author, and grants awarded to the co-author for research support (Processes PQ309322/2007-3 and 483463/2007-8). This paper was a contribution to the XII SBPP (Florianópolis, November 02-05th, 2008).

REFERENCES

- Barbosa, O. 1958. On the age of the Lower Gondwana Floras in Brazil and Abroad. In: CONGRESO GEOLÓGICO INTERNACIONAL, 20, 1958. *Proceedings*, Cidade do México, p. 205-236.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1969. *Flora da Formação Rio Bonito: Glossopteris, Noeggerathiopteris, Sphenopteris, Gangamopteris e Rhabdotaenia, na Subida do Bainha, Criciúma, SC*. 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., 2 v.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1978. Frutificações de pteridospermófitas eogondvânicas da Camada Irapuá, Formação Rio Bonito, nos arredores de Criciúma, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978. *Anais*, Recife, SBG, v. 2, p. 986-1001.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1980a. Tafoflora eogondvânica da Formação Rio Bonito (“Camada Irapuá”), Bacia do Paraná, Brasil. In: CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGÍA Y BIOSTRATIGRAFÍA, 2/CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGÍA, 1, 1978. *Actas*, Buenos Aires, v. 4, p. 69-88.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1980b. Nouveau genre néomariopteridien fertile de la Flore à Glossopteris du Bassin de Paraná au Brésil. *Boletim do Instituto de Geociências da USP*, 11:113-119.

- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 1988. Equisetales eogondvânicas da "Tafloflora 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. & Carvalho, R. G. 1981. Frutificações femininas de glossopteridófitas da Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão, Estado de Santa Catarina, Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 2, 1981. *Anais*, Porto Alegre, UFRGS, p. 181-199.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. & Pontes, C.E.S. 1977. Algumas observações sobre cordaitófitas da Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Brasil. In: CONGRESO GEOLÓGICO CHILENO, 1, 1976. *Actas*, Santiago, v. 3, p. 21-81.
- Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. & Yoshida, R. 1982. *Coniferófitas da "Tafloflora Irapuá", Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão, em Santa Catarina*. Associação Latinoamericana de Paleobotânica y Palinología, p. 39-55 (Boletín 8).
- Boureau, E. 1964. *Traité de Paléobotanique: Sphenophyta*. 1^ª ed, Paris, Masson et cie, v. III, 554 p.
- Césari, S.N & Loinaze, V.S.P. 2006. A new Carboniferous equisetale from western Gondwana. *Geobios*, **39**(6):785-790.
- Cúneo, R. & Escapa, I. 2006. The Equisetale genus *Cruciaetheca* nov. from the Lower Permian of Patagonia, Argentina. *International Journal of Plant Sciences*, **167**:167-177.
- 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'Apres Sa Position Stratigraphique. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, SYMPOSIUM SUR LES SERIE DE GONDWANA, 19, 1952. *Proceedings*, Algiers, p. 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 sanctacatarinae* n. sp.. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43**(Suplem.):337-342.
- Dower, B.L. 1999. *Sphenipsids from the Early Carboniferous of Paracas (Peru): implications for sphenopsid evolution in Gondwana*. University of Pennsylvania, Ph.D. thesis, 130 p.
- Escapa, I. & Cúneo, R. 2005. A new equisetalean plant from the early Permian of Patagonia, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **137**:1-14.
- Guerra-Sommer, M.; Cazzulo-Kleipzig, M. & Marques-Toigo, M. 1995. Gondwanostachyaceae (Equisetopsida) no Gondwana Sul-Brasileiro (Formação Rio Bonito) com Mega e Microflora associados. *Pesquisas*, **22**:64-73.
- Iannuzzi, R.; Pfefferkorn, H.W.; Díaz-Martínez, E.; Alleman, V. & Suarez-Soruco, R. 1998. La flora eocarbonífera de la Formación Siripaca (Grupo Ambo, Bolivia) y su correlación con la flora de Paracas (Grupo Ambo, Peru). *Boletín de la Sociedad Geológica del Peru*, **88**:39-51.
- Iannuzzi, R. 2002. Afloramento Bainha (Criciúma), SC - Flora *Glossopteris* do Permiano Inferior. In: C. Schobbenhaus; D.A. Campos; E.T. Queiroz; M. Winge & M.L.C. Berbet-Born. (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, DNPM, CPRM, SIGEP, p. 23-31.
- Meyen, S.V. 1967. New data on the relationship between Angara and Gondwana Late Paleozoic floras. In: IUGS SYMPOSIUM, 1, 1967. *Proceedings*, Buenos Aires, p. 144-152.
- Meyen, S.V. 1987. *Fundamentals of Paleobotany*. 1st ed., New York, Chapman and Hall, 432 p.
- Millan, J.H. 1967a. *O Gênero Samaropsis na Flora do Gondwana do Brasil e outros países*. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 12 p. (Geologia, Boletim 3).
- Millan, J.H. 1967b. *Novas frutificações na Flora de Glossopteris do Gondwana Inferior do Brasil. Dolianitia gen. nov.* Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 19 p. (Notas Preliminares e Estudos 140).
- Millan, J.H. 1969a. The Gymnospermic and Platypermic seeds of the *Glossopteris* Flora from Brazil and correlated foreign regions. In: IUGS SYMPOSIUM, 1, 1967. *Proceedings*, Buenos Aires, p. 107-122.
- Millan, J.H. 1969b. *Sobre Plumsteadiella um novo vegetal comum ao Gondwana Inferior do Brasil e da África do Sul. Plumsteadiella apeidicellata sp. nov.* Rio de Janeiro, Museu Nacional, 8 p. (Geologia, Boletim s/n.).
- Millan, J.H. 1971. Ocorrência de folhas de *Noeggerathiopsis* presas a um eixo caulinar, no Gondwana do estado de Santa Catarina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43**(Suplem.):343-350.
- Pant, D.D.; Nautiyal, D.D. & Misra, L. 1981. *Giridia indica* gen. et sp. nov. the possible cone of *Phyllothea indica* Bunbury. *Paleontographica Abt. B*, **176**:174-178.
- Rigby, J.F. 1969a. The Lower Gondwana Scene. *Boletim Paranaense de Geociências*, **27**:1-13.
- Rigby, J.F. 1969b. *Rhodea cricumana* sp. nov., a new plant from the Tubarão Group of Brazil. *Boletim Paranaense de Geociências*, **27**:111-122.
- 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.
- Stewart, W.N. & Rothwell, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. 1st ed. Cambridge, Cambridge University Press, 521 p.
- Townrow, J.A. 1955. On some species of *Phyllothea*. *Journal Proceedings of the Royal Society of NSW*, **89**:39-63.
- Yoshida, R. 1966. *Nota sobre um tufo de Glossopteridae na Camada Irapuá, Criciúma, SC*. São Paulo, SBG, p.69-77 (Boletim 15)
- Yoshida, R. 1968. *Descrição preliminar de Coníferas Neopaleozóicas da Bacia do Paraná*. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 54 p.

Capítulo 3

“Paleobotanical and palynological analysis from Quitéria Outcrop (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande do Sul, Brazil: taxonomy, biostratigraphy, and paleoecological implications”.

Boardman, D.R., Souza, P.A., Iannuzzi, R. & Mori, A.L.O.
Ameghiniana, submetido.

PALEOBOTANICAL AND PALYNOLOGICAL ANALYSIS FROM QUITÉRIA OUTCROP
(LOWER PERMIAN, RIO BONITO FORMATION, PARANÁ BASIN), RIO GRANDE DO SUL,
BRAZIL: TAXONOMY, BIOSTRATIGRAPHY, AND PALEOECOLOGICAL IMPLICATIONS

ANÁLISE PALEOBOTÁNICA Y PALINOLÓGICA DEL AFLORAMIENTO QUITÉRIA
(PÉRMICO TARDÍO, FORMACIÓN RÍO BONITO, CUENCA PARANÁ), RIO GRANDE DO
SUL, BRASIL: TAXONOMIA, BIOESTRATIGRAFIA E IMPLICACIONES
PALEOECOLÓGICAS

Daiana R. BOARDMAN¹, Paulo A. SOUZA¹, Roberto IANNUZZI¹, Ana L. O. MORI¹

¹Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500, CEP 91.509-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

daiana.boardman@gmail.com, paulo.alves.souza@ufrgs.br, roberto.iannuzzi@ufrgs.br,

luisaouta@yahoo.com.br

Number of pages: 37 pages

Number of illustrations: 7 figures and 3 tables

Header: Biostratigraphy from Quitéria Outcrop Brazil

Corresponding author: Daiana Rockenbach Boardman

Abstract: The sedimentary section exposed at the Quitéria Outcrop (Encruzilhada do Sul, central portion of Rio Grande do Sul State, Brazil) bears diverse and abundant fossil associations of plant remains and palynomorphs. This section includes coal deposits of the Rio Bonito Formation, Lower Permian of the Paraná Basin. This contribution presents a taxonomic reevaluation on paleobotanical records based on an in-depth revision based on available data as well as the direct analysis from material deposited in collections (published and unpublished). A taxonomic list is presented, based on the analysis of all published data. Also, a stratigraphic framework is offered for previous and new records in order to better understand biostratigraphy. According to this reevaluation, the Quitéria Outcrop bears 14 morphospecies of plant macrofossils including leaves and seeds of Glossopteridales, composing a typical coal-forming flora. New palynological results from this section are derived from six samples, which revealed diversified and abundant associations, including 29 species of spores, 36 of pollen grains and 4 taxa related to algae elements and fungi. Quantitative analysis shows that most samples are closely correlated with the previously known “*Lundbladispora-Punctatisporites-Portalites* Association”, described as a hygrophilous environment. The associations are compatible with the *Glossopteris/Rhodeopteridium* Zone and with the *Protohaploxylinus goraiensis* Subzone (base of the *Vittatina costabilis* Zone), related to the Cisuralian, Lower Permian. Stratigraphical considerations are given based on the comparison with other neighboring sections, as well as with a regional erosion surface recognized in this outcrop.

Key words: Palynology. Paleobotany. Lower Permian. Paraná Basin. Biostratigraphy.

Resúmen: La sección sedimentaria expuesta en el afloramiento Quitéria (Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil) presenta varias asociaciones y restos de plantas fósiles abundantes y palinomorfos. Esta sección se refiere a los yacimientos de carbón de la Formación Río Bonito, Pérmico Inferior de la Cuenca Paraná. Este artículo presenta una nueva evaluación taxonómica de los registros paleobotánicos sobre la base de una revisión exhaustiva de los datos disponibles, así

como el análisis directo de los materiales depositados en las colecciones (publicados y no publicados). Una lista taxonómica se presenta con los registros histórico-sistemáticos y el control estratigráfico de cada taxon con el fin de comprender mejor su importancia bioestratigráfica. De acuerdo con esta reevaluación, el afloramiento contiene 14 morfoespecies de microfósiles vegetales de las hojas y semillas de Glossopteridales, componiendo una flora típica de la formación de carbón. Los nuevos resultados palinológicos de seis muestras revelaron asociaciones variadas y abundantes, incluyendo 29 especies de esporas, granos de polen de 36 taxones y 4 relacionadas con los elementos algales y hongos. El análisis cuantitativo demuestra que la mayoría de las muestras está estrechamente relacionada con la conocida asociación de "*Lundbladispora-Punctatisporites-Portalites*, que se describe como de ambiente higrófilo. Las asociaciones son compatibles con la Zona *Glossopteris/ Rhodeopteridium* y la Subzona *Protohaploxypinus goraiensis* (base de la Zona *Vittatina costabilis*) del Cisuraliano, Pérmico Tardío. Se proporcionan consideraciones estratigráficas sobre la base de comparaciones con las secciones adyacentes, y de la superficie erosiva regional reconocida en el afloramiento.

Palabras clave: Palinología. Paleobotánica. Pérmico Tardío. Cuenca Paraná. Bioestratigrafía.

THE main coal-bearing strata of southern Brazil have been known since the 19th century (Carruthers, 1869; White, 1908). They were included in the Permian Rio Bonito Formation of the Paraná Basin. These deposits represent the “Greenhouse phase”, which followed the “Icehouse period” that affected Gondwana during the end of the Paleozoic (Gastaldo et al., 1996). Plant remains and palynological associations are commonly recorded from several outcrops of this unit, allowing reconstructions of the coal-generating paleoflora (Marques-Toigo and Corrêa da Silva, 1984; Guerra-Sommer *et al.*, 1991; Cazzulo-Klepzig *et al.*, 2007). Furthermore, these fossil assemblages have provided the records of index-species useful for correlations and biostratigraphic assignments.

Among the fossiliferous horizons within these coal-bearing strata, the Quitéria Outcrop is regarded as a key section because of its paleobotanical and palynological content (Jasper *et al.*, 2008a). Impressions, adpressions and casts are very abundant, especially casts of in situ in the upper portion of the outcrop. This outcrop is located in Encruzilhada do Sul, central portion of the Rio Grande do Sul State (RS), southern Brazil. Earliest geological data from this section was provided by Fernandes *et al.* (1989), followed by paleobotanical studies begun by Guerra-Sommer (1989), who illustrated some Lycophyta casts and specimens of Sphenophyta and *Rhodia?* (sic). These occurrences have spurred proposals of new taxa, increasing the list of paleoflora recognized in this part of Gondwana.

This paper presents a taxonomic revision of macrophytofossils from this outcrop based on literature and direct examination of specimens housed in several scientific collections, as well as new specimens recently collected by the authors. An updated taxonomic list is presented, including all recent systematic changes made in the last years, new paleobotanical and palynological records, and new paleoecological and biostratigraphic interpretations. Phytostratigraphic significance is discussed based on schemes proposed for this portion of the basin (Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig, 1993). Furthermore, 13 palynological samples were studied, providing new paleoecological and biostratigraphical assignments, taking into account the biostratigraphic framework established for the southern border of this basin (Souza and Marques-Toigo, 2003,

2005).

GEOLOGICAL AND PALEONTOLOGICAL CONTEXT

The Paraná Basin covers about 1.700.000 km², mainly in Brazil, but also spreading into Paraguay, Uruguay, and Argentina. It is an intracratonic basin filled with *ca.* 6200 m of Paleozoic and Mesozoic sediments, as well as Mesozoic volcanics rocks (Schneider *et al.*, 1974; Milani, 1997). According to Milani (1997), the basin includes six supersequences, limited by significant unconformities, *i.e.*, Rio Ivaí (Ordovician–Silurian), Paraná (Devonian), Gondwana I (Pennsylvanian–Permian), Gondwana II (Triassic), Gondwana III (Late Jurassic–Early Cretaceous) and Bauru (Late Cretaceous). The three oldest sequences correspond to expressive transgressive cycles during the Paleozoic, while the other ones represent continental deposits and associated Mesozoic igneous rocks.

Pennsylvanian–Permian strata from the Paraná Basin correspond to the Gondwana I Supersequence, which represents a long transgressive-regressive cycle, lithostratigraphically including the Pennsylvanian–Cisuralian Tubarão Group (Itararé Subgroup, and Aquidauana, Rio Bonito, Palermo, and Tatuí formations) and the Cisuralian–Lopingian Passa Dois Group (Irati, Serra Alta, Corumbataí, and Rio do Rasto formations). This supersequence is characterized by a heterogeneous lithology resulting from different processes and environments. It involves glacial and post-glacial records of marine, continental, and transitional facies (Milani and Zalán, 1999). The Rio Bonito Formation represents the onset of post-glacial conditions in this sector of Gondwana during the Lower Permian. The predominance of sandstones and pelites —associated with thick levels of coal in this formation— represent typical transitional environments such as deltas, lagoons and estuaries (Milani, 1997). These deposits carry a diverse and abundant fossil record, comprising continental and marine faunas and plant macro- and microfossils (Rocha-Campos, 1967). Based on the analysis of surface and subsurface data, Holz *et al.* (2006) recorded three depositional sequences in the Lower Permian deposits in the southern part of Paraná Basin (RS). The second (S2) and the

third (S3) sequences are respectively correlated to the deposits of Rio Bonito and Palermo formations; the sequence boundary between them was named SB3.

Sedimentary facies at Quitéria were correlated to final sequences of the Rio Bonito Formation transgressive tract, where levels of coal are thinner (Jasper *et al.*, 2006). In order to correlate phytostratigraphic, palynostratigraphic, and sequence stratigraphic schemes in Rio Grande do Sul State, Iannuzzi *et al.* (2010a) identified the SB3 erosional surface in the upper portion of the section. These data allowed us to place the locality within the regional stratigraphic framework overlying the Rio Bonito Formation.

Paleontological studies in the Quitéria Outcrop began during the late 1980s. Ten lithofacies (I to X) were recognized by Piccoli *et al.* (1991) in the area surrounding Quitéria. Lithofacies VI was identified in the basal beds of Quitéria, and interpreted as a deltaic-system plain in a peat-forming environment. Four biofacies (D to H) were also identified, but it appears that only biofacies E to H occur at the locality. Biofacies E includes a large assemblage of leaf compressions and fructifications, mainly glossopterids, as well as remains of sterile (*Phyllothea*) and fertile Sphenopsida. This biofacies was subdivided into E1 and E2 based on different palynological assemblages. Trilete spores predominated in E1 (accompanied by a small proportion of pollen grains) while E2 was very similar to E1 – lacking Lycopsida spores and carrying more frequent pollen grains of Gymnospermae. Biofacies F includes a microflora constituted predominantly by trilete spores (Pteridophyta). Pteridophyta spores dominate in biofacies G, while Gymnospermae pollen grains are less frequent.

In the uppermost levels, lithofacies VII was interpreted as fluvial in origin linked to a delta plain. Biofacies H —only in these levels— included an assemblage of *in situ* (= in growth position) compressed-impressed stumps of arborescent lycophytes, as well as frond compressions of a probable Pteridophyta (*Rhodea* sp.), reproductive structures, leaf impressions of Glossopteridales and a few branches of *Buriadia*-type Coniferales. A paleosol horizon with small roots marked the end of the fossil succession.

Plant remains recognized from this section by several authors were reevaluated over the last years (Mombach and Guerra-Sommer, 1990; Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig, 1993; Guerra-Sommer *et al.*, 1995a,b; Jasper and Guerra-Sommer, 1998; 1999; Jasper *et al.*, 2003; 2005; 2006; Boardman *et al.*, 2006; Iannuzzi and Boardman, 2008; Tybusch and Iannuzzi, 2008; Salvi *et al.*, 2008; Boardman and Iannuzzi, 2010). Based upon careful analysis, all occurrences are mentioned in this paper in order to update knowledge on the fossil content and stratigraphic framework of the Quitéria Outcrop.

The use of new tools—in addition to the existing data on fossil content—has been the focus of work carried out at the locality lately. Jasper *et al.* (2006) associated paleobotanical, palynological, petrographic and faciologic data in an attempt to establish a relation between depositional cycles and paleoecological patterns. In this work, the record of *Striatopodocarpites fusus* allowed assigning the deposits to the *Hamiapollenites karroensis* Subzone, base of the *Vittatina costabilis* Zone (Souza and Marques-Toigo, 2003, 2005; Souza, 2006). Guerra-Sommer *et al.* (2008a) used petrographic data and charcoal analysis to establish a depositional and successional model of plant communities. This was possible because at this outcrop the peat-forming process preserved a roof shale flora including the upper bed of fossil macroplants until definite clastic burial of the vegetation. According to Jasper *et al.* (2008b), charcoal fragments from this level are evidence of Lower Permian wildfires at this locality.

BIOSTRATIGRAPHIC CONTEXT

Phytostratigraphy

Plant macrofossil biostratigraphic studies have been conducted in rocks from Paraná Basin since the 1970s. Permian phytofossiliferous assemblages from the southern part of the basin including Quitéria Outcrop were discussed by Rösler (1978), Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993), Jasper *et al.* (2003), and Iannuzzi and Souza (2005). As a result, formal biostratigraphic frameworks were proposed by Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993) and Jasper *et al.*

(2003). Iannuzzi *et al.* (2007) discussed the available proposals and considered valid —for the southern portion of the Basin— the phytostratigraphic framework of Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993), which was reviewed by Iannuzzi *et al.* (2007) based on previous studies (Vieira and Iannuzzi, 2000; Iannuzzi *et al.*, 2003a, 2003b, 2010b; Jasper *et al.*, 2003, 2005; Tybusch, 2005; Iannuzzi and Souza, 2005; Tybusch and Iannuzzi, 2008; Iannuzzi and Boardman, 2008).

The register of *Botrychiopsis valida* for the first time in the Paraná Basin, at topmost levels of the Quitéria Outcrop, inspired the proposition a new phytostratigraphic framework for the southern portion of the Basin (Jasper *et al.*, 2003) including the *Botrychiopsis* Zone. This zone is subdivided into the *Botrychiopsis plantiana* and the *Botrychiopsis valida* subzones, the two of them characterized mainly by the range of these two species. This most recent zonation is difficult to apply. The main reason for this is the lack of a proper description and characterization of the zone as required by the Brazilian and the International Stratigraphic Codes (Petri *et al.*, 1986; Murphy and Salvador, 1999). In addition, comparisons with the previous zonations proposed for the same age, such as the one by Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993), are also absent according to the discussion in Iannuzzi *et al.* (2007). Besides, the single record of *B. valida* at only one locality (Quitéria) is a limiting factor to the potential biostratigraphic usefulness of this taxon. Recent contributions have indicated co-occurrence of the two index species of *Botrychiopsis* used by Jasper *et al.* (2003) —*i.e.*, *B. valida* and *B. plantiana*, in the upper portion of Quitéria Outcrop (Iannuzzi and Boardman, 2008)—, therefore overlapping the stratigraphic distribution of the two subzones (*B. plantiana* and *B. valida*) proposed by Jasper *et al.* (2003).

Thus, the phytozonation used here is the one proposed by Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993) as reviewed by Iannuzzi *et al.* (2007), which includes two interval zones, from base to top, *i.e.*, *Botrychiopsis plantiana* Zone and *Glossopteris/Rhodeopteridium* zones. The first is subdivided into *Gangamopteris obovata* and *Phyllothea indica* subzones.

Currently, the *Botrychiopsis plantiana* Zone is characterized by the first appearance of the glossopterids and the occurrence of *Gangamopteris obovata*. The occurrence of this zone is related

to the oldest Permian strata of the State, *i.e.*, the Sakmarian Itararé Subgroup. The *Gangamopteris obovata* Subzone is identified by the abundance of *Gangamopteris* species associated with relict Carboniferous taxa, such as *Botrychiopsis plantiana* and absence of several taxa of the overlying subzone, such as *Phyllothea indica* and *Glossopteris occidentalis*. The *Phyllothea indica* Subzone is defined mainly by the availability and abundance of *Phyllothea indica* (currently considered as a synonym for *Phyllothea australis*), the appearance of *Glossopteris occidentalis*, *Scutum* sp. and *Kawizophyllum* sp. and the occurrence of *Stephanophyllites* sp., *Samaropsis kurtzii*, *Cheirophyllum speculare*. In addition, this subzone shows a significant increase of *Glossopteris* in comparison with the concomitant reduction in the frequency of *Gangamopteris*.

The overlying *Glossopteris/Rhodeopteridium* Zone is characterized by the occurrence of *Sphenopteris* cf. *ischanonensis*, *Rhodeopteridium* sp. *Brasilodendron pedroanum*, *Plumsteadia sennes*, several species of *Glossopteris* (*G. browniana*, *G. mosesii*, and *G. obovata* var. *major*), and *Arberia minasica*, among others. This zone is linked to the youngest Lower Permian (early Artinskian) strata in Rio Grande do Sul and is included in the Rio Bonito Formation.

In their original proposal, Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993) placed the lower and upper portions of Quitéria Outcrop respectively in the *Phyllothea indica* Subzone of the *Botrychiopsis plantiana* Zone, and in the *Glossopteris/Rhodeopteridium* Zone. Currently, after the review by Iannuzzi *et al.* (2007, 2010a), only *Glossopteris/Rhodeopteridium* Zone is recognized at the locality. In this review, Iannuzzi *et al.* (2007) also highlighted correlations made between their phytostratigraphic framework and other tools (Iannuzzi *et al.* 2003a, 2003b). The authors recorded an erosional surface (SB2 of Holz, 1997, 1998) between the *Botrychiopsis plantiana* and *Glossopteris/Rhodeopteridium* biozones, and correlated the two biozones of Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993) with only one palynozone, the *Vitattina costabilis* Zone (Souza and Marques-Toigo, 2003, 2005; Souza, 2006), ranging from the top of the Itararé Subgroup to the middle-upper portion of the Rio Bonito Formation.

Palynostratigraphy

Several palynostratigraphic schemes were proposed for the Pennsylvanian–Permian interval of the Paraná Basin. Among them, Daemon and Quadros (1970) offered the most comprehensive stratigraphic and geographic approach (Souza and Milani, 2007). However, continuous updating both in the knowledge of the palynoflora and in the stratigraphic distribution of the constituting taxa has allowed improvement of the biostratigraphic units. Thus, Souza and Marques-Toigo (2003, 2005), and Souza (2006) presented frameworks based on interval zones characterized by well-defined limits of appearance and disappearance of selected taxa, which reflect the general sporomorph succession in the basin.

According to Souza and Marques-Toigo (2003, 2005), and Souza (2006), the Late Paleozoic succession of the Paraná Basin includes four interval zones, mentioned here in ascending stratigraphic order: *Ahrensia sporites cristatus* (AcZ), *Crucisaccites monoletus* (CmZ), *Vittatina costabilis* (VcZ), and *Lueckia sporites virkkiae* (LvZ). The AcZ and the CmZ characterize the Pennsylvanian interval of the basin, related to the lower and medium portions of the Itararé Subgroup, and recorded in the northeastern part of the basin. Only the two last zones were recorded in Rio Grande do Sul State (RS) and part of Santa Catarina State (SC). They were identified from the top of the Itararé Subgroup to the upper units of the Passa Dois Group.

The top of the Itararé Subgroup carries the basal occurrences of the VcZ, which extends until the top of the Rio Bonito Formation. The VcZ is limited at the bottom by the first appearance of *Vittatina* species (*V. saccata*, *V. subsaccata*, *V. costabilis*, *V. vittifera*), *Protohaploxylinus* species (*P. goraiensis*, *P. limpidus*), *Fusacolpites fusus* and *Illinites unicus*; this zone is limited at the top by the appearance of diagnostic species of the overlying LvZ. The VcZ is divided into two units, *i.e.*, the *Protohaploxylinus goraiensis* Subzone (PgSz) —determined by the range of *P. goraiensis*, *P. limpidus*, and *Illinites unicus*— and the *Hamiapollenites karrooensis* Subzone (HkSz), defined mainly by the range of the eponymous species and by the first appearance of *Striatopodocarpites fusus* and *Staurosaccites cordubensis*. The PgSz includes coal seams in RS and SC, earlier related to

the *Caheniasaccites ovatus* Subzone (Marques-Toigo 1988, 1991) and considered as an ecofacies within the VcZ (Souza and Marques-Toigo, 2003, 2005; Souza, 2006).

The LvZ occurs stratigraphically above the VcZ, from the top of Rio Bonito Formation and base of the Palermo Formation, reaching the base of the Rio do Rasto Formation (Serrinha Member), according to recent data from Neregato (2007) and Neregato *et al.* (2008). It records relatively diversified assemblages in the deposits of the latter unit, a unit previously considered sterile. The LvZ is limited at the bottom by the last appearance of *Hamiapollenites karroensis*, *Stellapollenites talchirensis*, *Lundbladispota riobonitensis*, *Potonieisporites novicus*, and by the first appearance of several species of taeniate and polylicate pollen grains, such as *Lueckisporites* (*L. virkkiae*, *L. stenotaeniatus*, *L. agoulaensis*), *Marsupipollenites striatus*, *Pakhapites fasciolatus*, *Protohaploxypinus* (*P. hartii*, *P. seawardi*, *P. microcorpus*), *Lunatisporites variesectus*, *Alisporites nuthallensis*, *Striatopodocarpites pantii*, *Weylandites lucifer* and *Staurosaccites*; the base of this zone is an important biostratigraphic *datum* for the basin. The LvZ is limited at the top by the disappearance of *Lueckisporites* species.

MATERIAL AND METHODS

Location and description of the outcrop

The analysed material comes from Quitéria Outcrop, located in the municipality of Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul (30°20' 17"S 52°10' 12"W), approximately 130 km from Porto Alegre (Fig. 1).

Figure 1

The deposits at the locality are about 6.5 m thick (Fig. 2) and include argillite, carbonaceous siltstones, and thin coal seams interbedded with paraconglomerates (with silty or clay matrix) in the basal and medium portions of the deposits. Overlying the last coal seam in the basal portion is a

porcelaneous level with sandy lenses at the top and a silty level above them. Paleosoils are vertically recurrent.

Figure 2

Facies analysis by Jasper *et al.* (2006) revealed—in the basal and medium portions of the outcrop—a depositional model inferred as a peat-forming environment associated with a restricted lagoon protected by barrier islands interspersed with alluvial fan deposits. Overlying this sequence rich in organic matter appears a facies representing washover fans and more open lagoons, without deposit of organic matter. In order to correlate phytostatigraphic, palynostratigraphic and sequence stratigraphy frameworks in Rio Grande do Sul State, Iannuzzi *et al.* (2010a) identified the SB3 erosional surface in the upper portion of the section. This, in addition to facies analysis, allowed us to place the locality within a regional stratigraphic context, on top of the Rio Bonito Formation.

A paraconglomerate bed at 1.2 m from the base, bearing paleosoils and bioturbated structures, includes a phytofossiliferous assemblages named herein as “Quitéria Base” (Fig. 2). A second macrofossil assemblage of plant (“Quitéria Top”; Fig. 2) occurs in the porcelanite with sandy lenses (approximately 5 m from the base). Overlying this sequence of carbonaceous and fine sediments is about 1 m of medium- to coarse-grained sandstone with cross-stratification; its basal erosive contact was linked by Iannuzzi *et al.* (2010a) to the third order boundary sequence SB3 of Holz (1997, 1998) and Holz *et al.* (2006).

Paleobotanical Material

Paleobotanical analysis required a detailed revision of the material from Quitéria, including the material housed in different institutions such as (1) Museu de Paleontologia, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DPE/IG/UFRGS), registered under MP-Pb abbreviation; (2) Laboratório de História da Vida e da

Terra, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (LaViGaea/ UNISINOS), ULVG abbreviation; (3) Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), PbU abbreviation. Specimens from the level “Quitéria Top” were found in all institutions mentioned above; however, only DPE/IG/UFRGS houses material from the level “Quitéria Base”. A total of 635 samples from Quitéria Outcrop were analysed, 597 from Quitéria Top and 38 from Quitéria Base. All fossil plant samples from this outcrop were revised in detail.

A comprehensive review on the published records of fossil plant from this locality was carried out in order to update systematic data. Thus, the available taxonomic list provided herein is an updated report on the paleobotanical diversity and botanical affinities of the locality. Suprageneric classification follows the proposal of Stewart and Rothwell (1993). Estimated relative frequency (RF) for the paleobotanical and palynological data was calculated according to the percentages of each taxon per stratigraphic level.

Palynological Material

Thirteen samples from different stratigraphic levels were collected for palynological analysis (recorded as Q1 to Q13; Fig. 2). Best results were observed from six levels only; four of them are composed of carbonaceous pelite (Q4, Q7, Q8, and Q9) and the two other levels are paraconglomerates (Q6 and Q12).

Samples were processed at the Laboratório de Palinologia “Marleni Marques Toigo”, DPE/IG/UFRGS, following the standard method for Paleozoic samples as described in Quadros and Melo (1987). About 10 g of each sample was separated and mechanically dissociated and then exposed to hydrochloric and hydrofluoric acids for dissolution of the carbonate and silicate compounds. Slides were mounted from the 25–250 µm residues, separated by manual sieving. All slides are housed in the Laboratório de Palinologia “Marleni Marques Toigo”, as part of the Museu de Paleontologia (DPE/IG/UFRGS), under the codes MP-P 6197 to 6202 and MP-P 6534 to 6540.

Taxonomic identification of palynomorphs was done under 200–1000x optical microscope;

minimum counts of 350 specimens per stratigraphic level were considered in quantitative characterization. Species selected for the biostratigraphic interpretation were those included in the biozones of Souza and Marques-Toigo (2003, 2005), and Souza (2006). The general classification of the palynofloras into paleobotanical groups is based on Stewart and Rothwell (1993), while the botanical affinities are mainly from Balme (1995) and additionally from Azcuy (1978).

RESULTS

Paleobotany

Collections including paleobotanical material from Quitéria Outcrop contained 75 specimens from Quitéria Base and 694 specimens from Quitéria Top. Besides, an update of the nomenclatural data for each taxon (Fig. 3) representing diversity at the locality allowed estimation of the relative frequency of each taxon in each level (Tab. 1, Fig. 4).

Figure 3

Table 1

Figure 4

Quitéria Outcrop yielded two assemblages of plant macrofossils typical of coal-associated floras, including remains of Glossopteridales (*Glossopteris* and *Gangamopteris*), Lycopsidea (*Brasilodendron*), and Sphenopsida (*Giridia*, *Phyllothea*, and *Paracalamites*), among others (Tab. 1).

Some differences are readily noticed between the two levels. Quitéria Base is dominated by Sphenopsida (*Paracalamites*, *Phyllothea*, and reproductive structures, *i.e.*, *Giridia quiteriensis*), about 59% of RF; Glossopteridales are the second most representative group, with RF of 38%, but only the genus *Glossopteris* (*Glossopteris communnis*, *Glossopteris* sp.) and *Arberia*-type reproductive structures were found. *Glossopteris indica* and *G. browniana* were recorded from this

level in previous studies (Guerra-Sommer *et al.*, 1995b). However, during the current review these taxa were not identified, or else they may correspond to the specimens herein identified as *Glossopteris communnis* and *Glossopteris* sp. Lycopsida (*Brasilodendron*), Filicopsida (Rhodeopterid fronds), and some *incertae sedis* seeds are the less representative groups of this level (Tab. 1). Quitéria Base can be considered a parautochthonous assemblage because of the significant occurrence of roots (paleosoils) with elements in growth position, and because of the large number of reproductive structures of Glossopteridales (*Arberia*) and Sphenopsida (*Giridia*). All these elements indicate minimum or no transport.

Quitéria Top is a widely studied macrofloristic assemblage, considered an autochthonous-parautochthonous assemblage by Guerra-Sommer *et al.* (2008a). It carries stump bases of *Brasilodendron pedroanum* in growth position (autochthonous elements). The other taxa forming this assemblage (*Glossopteris browniana*, *Gangamopteris buriadica*, *Cori cladus quiteriensis*, *Botrychiopsis valida*, *B. plantiana*, Rhodeopterid fronds, and *Lycopodites riograndensis*) are preserved as parautochthonous elements constituting a typical roof shale flora, overlying a coal seam. There is a predominance of Lycopsida bases (*Brasilodendron*) in this level, with an RF of 42.3%. Branches of Coniferales (*Cori cladus quiteriensis*) (RF 23.3%) and leaves of Glossopteridales (RF 22.3%) are abundant. Among the Glossopteridales leaves, *Gangamopteris buriadica* is very common in the sandstone lenses, while *Glossopteris browniana* is not so abundant. Pteridofilla (*Botrychiopsis valida* and *B. plantiana*), *Lycopodites riograndensis* (Lycopsida), and Rhodeopterid fronds (Filicopsida) are less representative elements in this assemblage (Tab. 1). The absence of Sphenopsida from this level is remarkable considering its abundance in the underlying Quitéria Base level.

Palynology

The analysed samples contained abundant, diverse and well preserved palynological assemblages. A total of 69 sporomorphs were identified, including 29 species of spores, 36 pollen

grains and 4 taxa related to algae elements and fungi spores. The complete list of recorded taxa together with their stratigraphic position along the section is shown in Table 2. Genus relative frequencies were recorded for each sample according to botanical affinities. Most common palynomorphs and those identified as index-species were preferentially illustrated (Fig. 5 and 6).

Table 2

Figure 5

Figure 6

The palynological assemblage observed along the section (Q4, Q6-Q9, and Q12) are generally dominated by spores instead of pollen grains, which are rare and frequently not well preserved. The genus *Lundbladispora* dominates 5 of the 6 quantified levels, while *Granulatisporites* is predominant in only one level (Tab. 3).

Table 3

Spores associated to different plant groups were observed, such as those of Lycopsidea (*Kraeuselisporites* and *Lundbladispora*), Sphenopsida (*Acanthotriletes*, *Calamospora*, and *Laevigatosporites*), and Filicopsida (*Granulatisporites*, *Convolutispora*, *Horriditriletes*, and *Punctatisporites*). Pollen grains related to two groups of Gimnospermopsida were recorded, *i.e.*, Glossopteridales (*Vittatina*, *Fusacolpites*, *Protohaploxylinus*, and *Vesicaspora*) and Coniferales (*Alisporites*, *Caheniasaccites*, *Cannanoropollis*, *Potonieisporites*, and *Hamiapollenites*) (Tab. 3).

Lundbladispora is predominant in the levels Q4, Q6, Q7, and Q9 (RF >51%), while in Q8, it is still dominant together with *Horriditriletes* (about RF 23% each). *Lundbladispora* is considerably reduced in the topmost level (Q12) with about 1%, while *Granulatisporites* is predominant (RF 36.44%). This genus presented 1.29 – 5.08% in the lower levels. *Portalites* occurs in all levels

dominated by *Lundbladispora*; thus it does not occur in Q12. The abundance of *Portalites* (1.34 – 13.09%) is directly related to the abundance of *Lundbladispora* (Q4, Q6, Q7, and Q9). Several spores of Filicopsida (*Granulatisporites*, *Cyclogranisporites*, *Horriditriletes*, and *Leiotriletes*) occur relatively abundantly in all levels, but as *Lundbladispora* is predominant in most of the levels, Lycopsidea is the dominant group in Q4, Q6, Q7, and Q9, while Filicopsida is the most abundant in Q8 and Q12. *Lundbladispora* tetrads are present in the five levels where the genus is predominant, occurring very expressively in Q4, Q7, and Q9, related to carbonaceous pelites.

Pollen grains are poorly represented in almost all the levels, except in Q6 (4.66%), which bears most of the genera found in the section.

DISCUSSION

Paleobotany and palynology

According to this taxonomic analysis, Quitéria Outcrop carries 14 morphospecies of plant macrofossils, as well as leaves and seeds of Glossopteridales (identified at a generic level). Specimens of *Brasilodendron* were previously recorded only at Quitéria Top. One specimen of this genus is now recognized within Quitéria Base. The taxon lists presented (Fig. 3 and Tab. 1) include all systematic changes for each taxon recorded at this outcrop. *Glossopteris indica* and *G. browniana* (Guerra-Sommer *et al.*, 1995b), in Quitéria Base, are currently *Glossopteris communnis* and *Glossopteris* sp.; *Buriadia* sp. (Piccoli *et al.*, 1991; Jasper *et al.*, 2003) was assigned to *Coricladus quiteriensis* (Jasper *et al.*, 2005); *Rubidgea* sp. (Jasper and Guerra-Sommer, 1999; Jasper *et al.*, 2003) and *Cordaites* sp. (Jasper *et al.*, 2003; Jasper *et al.*, 2005) are now identified as *Gangamopteris buriadica* (Tybusch and Iannuzzi, 2008); and *Gondwanostachys australis* (Guerra-Sommer *et al.*, 1995a) was reidentified as *Giridia quiteriensis* (Boardman and Iannuzzi, 2010).

An in-depth palynological analysis based on previous work from this locality is difficult since only selected taxa were listed and/or illustrated (Piccoli *et al.*, 1991; Guerra-Sommer *et al.*, 1995a; Jasper *et al.*, 2006; Guerra-Sommer *et al.*, 2008a). Some taxa previously described for the

outcrop were not verified, such as *Cristatisporites*, *Vallatisporites*, *Lunatisporites variesectus*, *Protohaploxypinus goraiensis*, some species of *Potonieisporites*, *Caheniasaccites*, *Cannanoropolis*, and algae elements (*Cymatiosphaera* and *Navifusa*). On the other hand, certain ones are identified for the first time to this locality, such as *Ahrensisporites* spp., *Converrucosporites micronodosus*, *C. confluens*, *Costapollenites ellipticus*, *Divarisaccus stringoplicatus*, and several species of *Potonieisporites* (*P. barrelis*, *P. neglectus*, *P. congoensis*, and *P. marleniae*) and *Vittatina* (*V. corrugata*, *V. costabilis*, *V. saccata*, *V. subsaccata* and *V. vittifera*).

Relative frequency of palynomorphs shows an adjusted correlation with the “*Lundbladispора-Punctatisporites-Portalites* Association” peat-forming plant community of Marques-Toigo and Corrêa da Silva (1984), which is typical of a hygrophilous environment. Levels Q4, Q6, Q7, and Q9 are the best examples of this association, in which the frequency of *Lundbladispора* is higher than 51%. *Lundbladispора* is less abundant in level Q8, but it remains dominant. The absence of *Vallatisporites* and *Cristatisporites* and especially the rare presence of *Lundbladispора* in Q12 distinguishes this level from the others; yet, the dominance of spores — mainly *Granulatisporites*, *Cyclogranisporites* *Punctatisporites* — over pollen grains allows the correlation of this level with the “*Lundbladispора -Punctatisporites-Portalites* Association” too.

Palynological assemblages from carbonaceous pelitic levels Q4, Q7, and Q9 are very similar in composition; they bear abundant spores and tetrads of *Lundbladispора* and *Portalites*, as well as scarce pollen grains. These characteristics indicate conditions of a minimum of sedimentary transport within a more restricted depositional location. Although the assemblage recovered in Q8 comes from a lithological level similar to Q4, Q7, and Q9, it shows a decrease in the relative frequency of *Lundbladispора* (23.8%) and *Portalites* (1.34%), a dominance of Filicopsida (*Horriditriteles*, *Cyclogranisporites*), and an increase of pollen grains, when compared to the other pelitic levels. These data indicate that the depositional site was located slightly away from the other lithologically similar levels (Q4, Q7, and Q9). In this situation, microfloristic taxa from nearby water bodies are better represented.

The assemblage recovered in Q6 showed significant quantities of *Lundbladispora* and *Portalites* and few tetrads of *Lundbladispora*. Pollen grains are more frequent (4.66%) and diverse, but not well preserved. These characteristics indicate intermediate conditions between both previously described environments. However, the sedimentary features (granulometry coarser than pelite) indicate a higher energy in the depositional system, resulting in low frequency of tetrads and unfavorable conditions for preservation of pollen grains.

Level Q12 includes a distinct palynological content, with absence of *Portalites* and tetrads, and low frequency of *Lundbladispora* —the dominant genus in the other underlying levels— whereas spores of Filicopsida are dominant (>90%) and pollen grains are well represented (3.46%) when compared to other levels. This level exhibits the coarsest granulometry among all analysed samples, containing around 20% of clasts in a pelite matrix. This is probably the farthest depositional site from the main peat, reflecting a more efficient tractive sedimentary transport.

Generally, the most basal levels present a very similar palynological assemblage (Q4, Q6, Q7, Q8, and Q9), except in Q6, in which the frequency and diversity of pollen grains is higher. In the lower portion, only taxa related to Glossopteridales are represented by macrofossils (*Glossopteris*, *Arberia*) in Quitéria Base and by pollen grains (*Vittatina*, *Protohaploxypinus*); Coniferales are represented only by pollen grains. The most abundant groups in the palynological assemblages are Lycopsida and Filicopsida: *Lundblasdispora*, *Granulatisporites*, and *Punctatisporites*, which are documented by few specimens of *Brasilodendron* and Rhodopterid fronds. Sphenopsida (*Giridia*, *Phyllothea*, and *Paracalamites*) is the most representative group among Quitéria Base macrofossils, but related spores species are rare (Tab. 1 and 2). Similar correlation was made by Guerra-Sommer *et al.* (1995a) between Quitéria Base and the Q6 level, based on plant fossils and palynology.

In terms of plant macrofossils, the upper portion of the outcrop is dominated by Lycopsida (*Brasilodendron* and *Lycopodites*), while Glossopteridales and Coniferales (*Glossopteris*, *Gangamopteris*, and *Coricladus*) are frequent macrofossils in Quitéria Top. Filicopsida

(Rhodopterid fronds) are rare in this portion, probably due to their delicate structure, less favourable to preserve (Figure 3H). An attempt to correlate Quitéria Top with Q12—the nearest stratigraphic level— shows that the differences are noticeable, mainly because of the abundance of Lycopsidea, which is rare in terms of sporomorphs. A possible explanation is that Q12 displays a palynological assemblage deposited in an environment more distant from the peat, since Lycopsidea represents a group typically found along the border of water bodies of the peat (Guerra-Sommer *et al.*, 2008a).

The abundant record of Sphenophyta (*Giridia quiteriens*, *Phyllothea indica*) and elements of Glossopteridales (*Glossopteris communis*, *Arberia minasica*) allows us to correlate Quitéria Base with the Biofacies E of Piccoli *et al.* (1991) for the outcrop revealed that, concerning plant macrofossils, “biofacies E” is related to Quitéria Base. Typical records of *Brasilodendron* casts in the Quitéria Top show resemblance with the Biofacies H.

Biofacies based on sporomorphs (E1, E2, F, and G) by Piccoli *et al.* (1991) are very difficult to compare. Biofacies E1 and level Q6 seem very similar due to the rich assemblage of trilete spores (mainly *Lundbladispora*) and the diversity of pollen grains (in minor proportion compared to the spores); Biofacies E2 was not found, since it is characterized by the absence of *Lundbladispora*, a genus which was abundant in almost all the assemblages analysed herein; Biofacies F can be associated to level Q8, as the majority of spores are referred to Filicopsida; Biofacies G can not be correlated, since *Punctatisporites* does not occur as a dominant genus in any of the analysed levels.

Comparisons with palynological results obtained by Jasper *et al.* (2006) became impracticable, since only general composition of recognized facies was offered. Stratigraphical distribution of each taxon was not presented, and quantitative data is shown according to major botanical groups of sporomorphs based on their botanical affinities. For plants macrofossils, the authors approached only the assemblages which correspond to Quitéria Top (“Sm” facies).

Comparisons between different palynological and paleobotanical assemblages studied herein reveal significant similarities. Differences are emphasized in the analysis of taxa frequency at each

level; this may be interpreted as a reflecting lateral variation of lithofacies (especially in the palynological levels). Besides, taphonomic processes involved in the preservation of these fossil assemblages can act in different ways, as preservation of sporomorphs and plant macrofossils are controlled by sedimentary dynamics and by intrinsic characteristics of the organic detrital particles, such as resistance to physical damage and potential of preservation.

Biostratigraphy

The phytostratigraphic analysis used herein is based on Iannuzzi *et al.* (2007), which revised the frameworks of Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993) for the southern portion of the Paraná Basin and the proposal by Jasper *et al.* (2003) for our locality. Changes were introduced by Iannuzzi *et al.* (2007) to modify the range of certain species, such as *Botrychiopsis plantiana* and several Glossopteridales. These new stratigraphical distributions are confirmed here.

According to these authors, *Brasilodendron pedroanum* and *Glossopteris browniana* are stratigraphically restricted to the *Glossopteris/Rhodeopteridium* Zone (Fig. 7). This regional zone corresponds to the Taphofloras B and C of Rösler (1978) and to the *Glossopteris-Brasilodendron* Flora of Iannuzzi and Souza (2005), which comprise the general plant succession to the Permian deposits of the basin. Endemic taxa also occur in Quitéria Outcrop, such as *Botrychiopsis valida* and *Coricladus quiteriensis*, preventing their use as index fossils.

Figure 7

The occurrence of *Giridia quiteriensis* (Boardman and Iannuzzi, 2010) both at Quitéria and at Bainha Outcrop, located in Criciúma (southern part Santa Catarina State), also allows us to correlate these two localities. Reproductive structures tend to have a short stratigraphic range, becoming thus good biostratigraphic indicators (Thomas and Spicer, 1987). The Bainha Outcrop carries the well-known “Irapuá Bed” flora, a coal seam underlying the “Barro Branco Bed”, which

is an important key bed at the top of the Rio Bonito Formation (Siderópolis Member) in the “Santa Catarina coal basin” (Iannuzzi, 2002). Thus, considering that the “Camada Irapuá” is a stratigraphical marker within the upper portion of the Rio Bonito Formation, this correlation suggests that Quitéria Outcrop may carry the youngest rocks of the Rio Bonito Formation in Rio Grande do Sul State.

Several index species of the *Vittatina costabilis* Zone (VcZ) were recorded in the material studied, such as *Vittatina costabilis*, *V. subsaccata*, and *V. vittifera* (Tab. 2). The presence of *P. limpidus* and *S. talchirensis* and the abundance of *G. austroamericanus* and *C. confluens* suggest a correspondence with the *Protohaploxypinus goraiensis* Subzone, lower portion of VcZ. No diagnostic species of the *Hamiapollenites karrooensis* Subzone was recovered. However, a specimen of *Striatopodocarpites pantii* and of cf. *Weylandites* sp. were recorded respectively in levels Q6 and Q9. These taxa are typical of the overlying *Lueckisporites virkkiae* Zone and their records seem to be their first appearances.

According to Souza and Marques-Toigo (2003, 2005), taeniate and polyplicate pollen grains are more abundant at the base of the *Lueckisporites virkkiae* Zone, where spores are less frequent. The first occurrences of certain index species of the LvZ were also observed by Mori and Souza (2010) in the transition between Rio Bonito and Palermo formations, southern part of the basin (Candiota region, RS). These authors stated that particular species from the VcZ could reach the levels of the LvZ, which is recorded in the upper levels of the Rio Bonito Formation, thus confirming information by previous authors (Daemon and Quadros, 1970).

These apparent discrepancies require new analysis from continuous sections, mainly based on boreholes, in order to detect if the previous stratigraphical ranges of some taxa are longer. According to Souza and Marques-Toigo (2003, 2005), *P. goraiensis* is restricted to the VcZ. However, Mori and Souza (2010) recorded this taxon within levels referred to the base of the overlying LvZ. According to Mori (2010), the interval between the top of the Rio Bonito Formation and the base of the Palermo Formation in boreholes HN-05-RS and HN-25-RS presents

“transitional” biostratigraphic characteristics, such as the maintenance of index species from the VcZ in levels assigned to the LvZ, whereas the first appearances of certain taxa from the LvZ occur at the topmost levels of the VcZ. These characteristics were observed as well by Beri *et al.* (2004) in the adjacent area of the basin in Uruguay (Souza *et al.*, 2007). This problematic situation was discussed by Mori (2010), who suggested a new biostratigraphic subdivision for this sector of the basin.

Jasper *et al.* (2006) assigned the palynological assemblages recovered at Quitéria Outcrop to the *Hamiapollenites karroensis* Subzone (HkSz), based on the occurrence of *Striatopodocarpites fusus*, which appears restricted to this subzone according to Souza and Marques-Toigo (2005). However, Dias (1993) had recorded this species in the Itararé Subgroup, preventing the use of this taxon as an indicator of the HkSz.

Thus, the assignment of the Quitéria Outcrop in the *Protohaploxylinus goraiensis* Subzone (Fig. 7) is based both on the presence of a large number of typical taxa in this unit, some of them stratigraphically restricted, and on the absence of species diagnostic of HkSz and the rare occurrence of guides from the LvZ.

Chronostratigraphy

Although the number of absolute datings of the Paleozoic deposits has increased over the last decade, there is no work that deals specifically with the Quitéria Outcrop. Datings from the Rio Bonito Formation are still very controversial due to the different radiometric methods used, with results that are often conflicting.

Two typical localities where the coal seams from Rio Grande do Sul are exposed provided information on absolute datings. Three radiometric datings were obtained from Faxinal Coalfield: 290.9 ± 1.68 My (Guerra-Sommer *et al.*, 2006), 288.76 ± 1.4 My (Guerra-Sommer *et al.*, 2008c), and 290.6 ± 1.5 My (Guerra-Sommer *et al.*, 2008d), using different analytical methods on zircons derived from ash falls. Different ages were obtained at Candiota Mine, based on two levels of

tonstein at the top of the section (Matos *et al.*, 2001; Guerra-Sommer *et al.*, 2005, 2008b, 2008d; Rocha-Campos *et al.*, 2006, 2007); results vary from 267.1 ± 3.4 My (Matos *et al.*, 2001) to 296.9 ± 1.65 My (Guerra-Sommer *et al.*, 2008b).

A tonstein level was identified within the uppermost levels of the Rio Bonito Formation from an outcrop section placed stratigraphically above the Candiota Mine. This tonstein was analysed by Mori *et al.* (submitted), who obtained an age of 281.4 ± 3.4 My. This data is relevant for our analysis, as the erosional surface SB3 of Holz (1997, 1998) and Holz *et al.* (2006) was also recognized in that outcrop and these datings characterize the oldest age for the LvZ in the Paraná Basin. This erosional event (SB3) might have affected the units in different ways, eroding the continental top deposits of the Rio Bonito Formation and/or the marine facies at the base of the Palermo Formation, thus resulting in different ages for the levels beneath SB3. Palynological assemblages recognized in the Quitéria Outcrop are older than those ones found in Candiota Coalfield, belonging to the PgSz. We conclude that this event (sequence boundary SB3) eroded more intensively the sediments from the Rio Bonito Formation at the Quitéria Outcrop than at Candiota. Thus, we also conclude that the sediments of the Quitéria Outcrop should be considered older than 281.4 ± 3.4 My, age obtained by Mori *et al.* (submitted) for the section from the region of Candiota.

CONCLUSIONS

The Quitéria Outcrop is considered a relevant section within the deposits of the Rio Bonito Formation since it presents rich and diversified taxa of plant remains, palynological assemblages retrieved from several levels, as well as it contains a regional stratigraphic surface boundary.

Association of plant fossils characterize a typical scenery of roof shale flora. Taxonomic revision allowed us to confirm the record of 14 morphospecies belonging to botanical groups. Lycopsida is the most common one, strongly represented at the Quitéria Top, within a level where

insitu casts (*Brasilodendron pedroanum*) are recorded as well-preserved. In a palynological view, these levels present association rich in *Lundbladispora*.

This outcrop bears plant fossils correlated to taphofloras B and C by Rosler (1978). Taking into account the model of the floral succession established to the Paraná Basin by Iannuzzi and Souza (2005), it corresponds to the *Glossopteris-Brasilodendron* Flora, which is well distributed along all the Paraná Basin within similar zones in Argentina and Uruguay (*Glossopteris* Phytozone, Archangelsky *et al.* 1980), as well as in other Permian zones in Australia and India (Retallack, 1980; Maheshwari and Bajpai, 2001).

The *Protohaploxylinus goraiensis* Subzone was recognized in this outcrop mainly by the presence of *P. limpidus* and *S. talchirensis* and by the abundance of *G. austroamericanus* and *C. confluens*. This subzone is correlated with the *Cristatisporites inconstans – Vittatina subsaccata* Zone established to the Paraná Basin in Uruguay (Beri *et al.* 2004)–, as well as with the *Potonieisporites – Lundbladispora* Zone of the Chacoparaná Basin in Argentina (Russo *et al.*, 1980; Vergel, 1993), and the *Fusacolpites fusus – Vittatina subsaccata* Zone to the central-western Argentina (Césari and Gutiérrez, 2000). However, certain species typical to the overlying palynozone (LvZ) are recorded. This implies that this section represents the transition between two biozones and/or the first appearance of these guide species.

The erosional surface SB3 occurs at the uppermost levels of the Quitéria Outcrop. It represents a geological event which affected the uppermost portion of the Rio Bonito Formation in the Paraná Basin. We conclude it eroded more intensively the Rio Bonito Formation in the Quitéria region than in the Candiota region. Thus, the Quitéria section bears sediments slightly older than those ones recorded at the Candiota region, since this last section was recently dated as Artinskian (281.4 ± 3.4 My, Mori *et al.*, submitted).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Dra. Tânia L. Dutra from Laboratório de História da Vida e

da Terra (LaViGaea) of Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) and Dr. André Jasper from the Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES) for hosting us at their institutions to analyse of the paleobotanical material from Quitéria Outcrop and Dr. Michael Holz from the Universidade Federal da Bahia (UFBA) for her assistance in measuring the stratigraphic section at the locality. This research was funded by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), with the research projects 401769/2010-0, 480385/2010-6 (PAS) and 483463/2007-8 (RI) and by the grants of doctorate scholarship 140631-2006/2 (DRB). The authors also would like thank to CNPq for a Researcher Support Grant (PAS and RI) and a doctoral scholarship (DRB and ALOM).

REFERENCES

- Archangelsky, S., Azcuy, C., Pinto, I.D., Gonzalez, C.R., Marques-Toigo, M., Rösler, O. and Wagner, R.H. 1980. The Carboniferous and early Permian of the South American Gondwana area: a summary of biostratigraphic information. *2º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1º Congreso Latinoamericano de Paleontología* (Buenos Aires). *Actas*, 4: 257-269.
- Azcuy, C.L. 1978. Posible significado paleoecológico de microfloras gondwánicas del Paleozoico Superior, especialmente argentinas. *Ameghiniana* 15(1-2): 85-95.
- Balme, B.E. 1995. Fossil in situ spores and pollen grains: an annotated catalogue. *Review of Palaeobotany and Palynology* 87: 81-323.
- Béri, A., Gutiérrez, P.R., Cernuschi, F. and Balarino, L. 2004. Palinoestratigrafia del Pérmico de la Cuenca Paraná, Uruguay. *11º Reunião de Paleobotânicos e Palinólogos* (Gramado), *Boletim de Resumos*, p. 29.
- Boardman, D.R. and 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. and 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.

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., Menegat, R., Simas, M.W. and Mendonça Filho, J.G. 2007. Peat-forming environment of Permian coal seams from the Faxinal coalfield (Paraná Basin) in Southern Brazil, based on palynology and palaeobotany. *Revista Brasileira de Paleontologia* 10(2): 117-127.

Césari, S.N. and Gutiérrez, P.R. 2000. Palynostratigraphy of Upper Paleozoic sequences in Central-Western Argentina. *Palynology* 24: 113-146.

Daemon, R.F. and Quadros, L.P. 1970. Bioestratigrafia no Neopaleozóico da Bacia do Paraná. 24^o Congresso Brasileiro de Geologia, Brasília (Brasília) Anais 1: 359-412.

Dias, M.E.R. 1993. Palinologia do Grupo Itararé na Porção Centro-Sul do Rio Grande do Sul, Permiano da Bacia do Paraná, Brasil. *Pesquisas* 20(2): 119-131.

Fernandes, L.A.D., Tommasi, A., Porcher, C.C., Marques-Toigo, M., Guerra-Sommer, M. and Piccoli, A.E.M. 1989. Mapa geológico de parte das folhas de Quitéria de Várzea do Capivarita, RS. Porto Alegre, Instituto de Geociências, UFRGS (Série Mapas, 14).

Gastaldo, R.A., Walther, H. Rabold, J. and Ferguson, D. 1996. Criteria to distinguish arautochthonous leaves in Cenophytic alluvial channel-fills. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 91: 1-21.

Guerra-Sommer, M. 1989. Megafloora ocorrente em horizontes associados a carvão no Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia* 29(2): 93-122.

Guerra-Sommer, M. and Cazzulo-Klepzig, M. 1993. Bioestigraphy of the southern brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence: a preliminary paleobotanical approach. 12^o Congrès International de la Stratigraphie et Geologie du Carbonifere et Permian (Buenos Aires) *Comptes Rendus* 2: 61-72.

- Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M. and Corrêa da Silva, Z.C. 1991. Original biomass and coal deposition in southern Brazil (Lower Permian. Paraná Basin). *Bulletin de la Societe Geologique de France* 162(2): 227-237.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. and 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. and Marques-Toigo, M. 1995b. Paleoclimatic implications of Lycophyta in the Gondwana of Southern Brazil. *Pesquisas* 22(1-2): 21-31.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Formozo, M. L., Menegat, R. and Basei, M.A.S. 2005. New radiometric data from ash fall rocks in Candiota coal-bearing strata and the palynostratigraphic framework in southern Paraná Basin (Brazil). *Gondwana* 12 (Mendoza) *Abstracts* p. 89.
- Guerra-Sommer, M., Santos, J.O.S., Cazzulo-Klepzig, M., Hartmann, L.A., Menegat, R. and McNaughton, N.J. 2006. The geochronological significance of tonstein in coal-bearing strata from the southern Paraná Basin. *In: South American Symposium on Isotope Geology*, 5 (Punta del Este) *Short Papers* p. 254-257.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Jasper, A., Kalkreuth, W., Menegat, R. and Barboza, E.G., 2008a. Paleoecological patterns at the coal-roof shale transition in an outcrop of the Permian Brazilian Gondwana. *Revista Brasileira de Paleontologia* 11: 11–26.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Formoso, M.L.L., Menegat, R. and Mendonça, J.G. 2008b. U-Pb dating of tonstein layers from a coal succession of the southern Paraná Basin (Brazil): A new geochronological approach. *Gondwana Research* 14: 474-482.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., Formoso, M.L.L., Basei, M.A.S., Barboza, E.G. and Simas, M.W. 2008c. Geochronological data from the Faxinal coal succession, southern Paraná Basin, Brazil: a preliminary approach combining radiometric U–Pb dating and palynostratigraphy. *Journal of South American Earth Sciences* 25: 246-256.

- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Ketzer, J.M., and Formoso, M.L.L. 2008d. Radiometric age determination of tonsteins and stratigraphic constraints for the Lower Permian coal succession in southern Paraná Basin, Brazil. *International Journal of Coal Geology* 74: 13–27.
- 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. 1998. The Eo-Permian coal seams of the Paraná Basin in southernmost Brazil: An analysis of the depositional conditions using sequence stratigraphy concepts. *International Journal of Coal Geology* 36: 141-163.
- Holz, M., Kückle, J., Philipp, R.P, Bischoff, A.P. and 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.
- Iannuzzi, R. 2002. Afloramento Bainha (Criciúma), SC - Flora *Glossopteris* do Permiano Inferior. In: Schobbenhaus, C. *et al.* (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. pp. 23-31.
- Iannuzzi, R. and Boardman, D.R. 2008. Novas ocorrências de *Botrychiopsis plantiana* (Carr.) Arch. and Arrondo no Afloramento Quitéria, Permiano Inferior, Rio Grande do Sul: implicações bioestratigráficas. *12º Simpósio de Paleobotânicos e Palinólogos* (Florianópolis) *Boletim de resumos* p. 95.
- Iannuzzi, R. and 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. and Pereira, L.S. 2003a. Phytobiostratigraphical reevaluation of the Southern Brazilian Gondwana sequence (Paraná Basin, Lower Permian). *15º 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. and 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). 1º *Encontro sobre estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias* (Porto Alegre) *Anais* 182-185.
- Iannuzzi, R., Souza, P.A., Scherer, C.M.S. and Holz, M. 2007. Plantas fósseis na Bioestratigrafia dos depósitos permianos do Rio Grande do Sul. *In: Iannuzzi, R. and Franz, J.C (eds.). 50 anos de geologia, contribuições do Instituto de Geociências*. Porto Alegre. pp. 41-57.
- Iannuzzi, R., Souza, P.A and Holz, M. 2010a. 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.
- 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. and Barboza, E.G. 2010. 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*. Volume II: 321-336.
- Jasper, A. and Guerra-Sommer, M. 1998. Licófitas cormofíticas arborescentes do afloramento Quitéria – Formação Rio Bonito (Bacia do Paraná), RS. *Pesquisas* 25: 43-60.
- Jasper, A. and 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. and 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. and 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.

Jasper, A., Menegat, R., Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. and 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(2): 276-293.

Jasper, A., Guerra-Sommer, M., Menegat, R., Cazzulo-Klepzig, M., Ricardi-Branco, F.S. and Salvi, J.

2008a. Afloramento Quitéria, Encruzilhada do Sul, RS - Sedimentos lagunares com singular associação fitofossilífera da Formação Rio Bonito. In: Winge, M. et al. (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio008/sitio008.pdf>

Jasper, A., Uhl, D., Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. and Mosbrugger, V. 2008b.

Palaeobotanical evidence of wildfires in the Late Palaeozoic of South America – Early Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 26: 435–444.

Maheshwari, H. and Bajpai, U. 2001. Phytostратigraphical succession in the *Glossopteris* Flora of

India, *Revista Universidade Guarulhos Geociências* 6: 22–34.

Marques-Toigo, M., 1988. *Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia do Neopaleozóico da*

Bacia do Paraná nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, *Tese de Doutorado*, 259 p.

Marques-Toigo, M. 1991. Palynobiostratigraphy of the southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana

sequence. *7º International Gondwana Symposium (São Paulo) Proceedings* 503-515.

Marques-Toigo, M. and Corrêa da Silva, Z.C. 1984. On the origin of Gondwanic south Brazilian

coal measures. *Comunicações Serviços Geológicos de Portugal* 70(2): 151-160.

Matos, S.L.F., Yamamoto, J.K., Riccomini, C., Hachiro, J. and Tassinari, C.C.G. 2001. Absolute

dating of Permian ash-fall in the Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. *Gondwana Research* 4: 421-426.

- Milani, J.E. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-oriental*. Porto Alegre, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, *Tese de Doutorado*, 255p.
- Milani, E.J. and 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.
- Mombach, A.A. and Guerra-Sommer, M. 1990. Articuladas com estruturas reprodutivas preservada no Gondwana sul-brasileiro (Formação Rio Bonito – Artinskiano/Kunguriano). *Ciência e Natura* 12: 65-70.
- Mori, A.L.O. 2010. Análise palinoestratigráfica de depósitos permianos da Bacia do Paraná no sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: uma nova proposta bioestratigráfica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, *Tese de Doutorado*, 289 p.
- Mori, A.L.O. and Souza, P.A. 2010. Palinologia das formações Rio Bonito e Palermo em Candiota, RS, Brasil. *Ameghiniana*, 47(1): 61-78.
- Mori, A.L.O, Souza, P.A., Marques, J.C. and Lopes, R.C. 2011. A new U-Pb zircon age dating and palynological data from a Lower Permian section of the southernmost Paraná Basin, Brazil: biochronostratigraphical and geochronological implications for Gondwana correlations. *Gondwana Research*, (submitted).
- Murphy, M.A. and Salvador, A. 1999. International Stratigraphic Guide - An abridged version. *Episodes* 22: 255-271.
- Neregato, R. 2007. *Estudo palinológico das Formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto nos furos de sondagem SP-23-PR e SP-58-PR, centro-norte do Paraná (Permiano, Bacia do Paraná)*. Universidade Estadual Paulista, *Dissertação de Mestrado*, 107p.
- Neregato, R., Souza, P.A. and Rohn, R. 2008. Registros Palinológicos Inéditos nas Formações teresinae Rio do Rasto (Permiano, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná). Implicações biocronoestratigráficas e paleoambientais. *Pesquisas em Geociências* 35(2): 9-21.

- Petri, S., Coimbra, A.M., Amaral, G. and Ponçano, W.L. 1986. Guia de Nomenclatura Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências* 16(4): 376-415
- Piccoli, A.E.M., Menegat, R., Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M. and 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.
- Quadros, L.P. and Melo, J.H.G. 1987. Método prático de preparação palinológica em sedimentos pré-mesozóicos. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 1(2): 205-214.
- Retallack, G.J. 1980. Late Carboniferous to Middle Triassic megafossil floras from the Sydney Basin. *Bulletin of the Geological Survey of New South Wales* 26: 385-430.
- Rocha-Campos, A.C. 1967. The Tubarão Group in the brazilian portion of the Paraná Basin. In: Bigarella, J.J.; Becker, R.D.; Pinto, I.D. (ed). *Problems in Brazilian Gondwana Geology*. 27-102.
- Rocha-Campos, A.C., Basei, M.A.S., Nutman, A.P. and Santos, P.R. 2006. Shrimp U-Pb Zircon geochronological calibration of the Late Paleozoic Supersequence, Paraná Basin, Brazil. 5^o *South American Symposium on Isotopic Geology (Punta del Este) Short Papers* 298-301.
- Rocha-Campos, A.C., Basei, M.A.S., Nutman, A.P. and Santos, P.R. dos. 2007. SHRIMP U-PB zircons ages of the late Paleozoic sedimentary sequence, Paraná Basin, Brazil. 4^o *Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná (Búzios) Boletim de Resumos* p. 33.
- Rösler, O. 1978. The Brazilian eogondwanic floral successions. *Boletim do IG-USP* 9: 85-91.
- Russo, A., Archangelsky, S. and Gamero, J.C. 1980. Los depósitos suprapaleozoicos en el subsuelo de la llanura Chaco-Pampeana, Argentina. 2^o *Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1^o Congreso Latinoamericano de Paleontología*. (Buenos Aires). *Actas* 4: 157-173.
- Salvi, J., Jasper, A., Ricardi-Branco, F., Guerra-Sommer, M. and 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.

Schneider, R.L., Muhlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F. and Nogueira A.A.

1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. *Congresso Brasileiro de Geologia* 1: 41-65.

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

Souza, P.A. and 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, P.A., and 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 Ciências*. **77**(2): 353-365.

Souza, P.A. and Milani, E.J. 2007. O pioneirismo do zoneamento palinoestratigráfico de Daemon e Quadros (1970): um marco no conhecimento estratigráfico da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 15: 118-130.

Souza, P.A., Vergel, M.M and Beri, A. 2007. Pennsylvanian and Permian Palynostratigraphy of the Paraná/Chacoparaná Basins in Brazil, Argentina and Uruguay: an integrative analysis. In: Díaz-Martínez, E. and Rábano, I. 4^o European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin American. *Cuadernos del Museo Geominero* 8: 361-366.

Stewart, W.N. and Rothwell, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. 1^a ed. Cambridge University Press, 521 p.

Thomas, B.A and Spicer, R.A. 1987. *The evolution and palaeobiology of land plants*. 1^a ed. London & Sydney, 309 p.

Tybusch, G.P. and 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. 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*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, *Dissertação de Mestrado*, 102p.

Vergel, M.M. 1993. Palinoestratigrafía de la secuencia neopaleozoica en la Cuenca Chacoparanense, Argentina. *12º Congrès International de la Stratigraphie et Geologie du Carbonifere et Permien* (Buenos Aires). *Comptes Rendus* 1: 201-212.

Vieira, C.E.L. and 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.

White, I.C. 1908. *Relatório Final sobre as coal measures e rochas associadas do sul do Brasil*. Rio de Janeiro, 300p. (Report from Comissão das Minas de Carvão da Pedra do Brasil).

FIGURE CAPTIONS

Figure 1: Location map of the Quitéria Outcrop.

Figure 2: Stratigraphic section of the Quitéria Outcrop indicating the levels with study paleobotanical and palynological samples.

Figure 3: Systematic history of the paleobotanical taxa from Quitéria Outcrop.

Figure 4: Paleobotanical material from Quitéria Outcrop. Quitéria Base, 1, *Glossopteris communis*, MP-Pb 2864; 2, *Giridia quiteriensis*, MP-Pb 2863, 3, *Arberia minasica*, MP-Pb 3104. Quitéria Top, 4, *Glossopteris browniana*, MP-Pb 5175b; 5, *in situ* stem of *Brasilodendron pedroanum*; 6, *Coricladus quiteriensis*, PbU 194; 7, *Gangamopteris buriadica*, MP-Pb 4008a; 8, Rhodopterid fronds, PbU 254; 9, *Lycopodites riograndensis*, MP-Pb 4912; 10, *Botrychiopsis plantiana*, MP-Pb 4293 e 11, *Botrychiopsis valida*, MP-Pb 4291. Scale: 10mm.

Figure 5: Photo-documentation of selected species from the studied material. 1, *Leiotriletes virkkii* (MP-P 6200, X59). 2, *Punctatisporites gretensis* (MP-P 6202, P44-1). 3, *Cyclogranisporites* sp. (MP-P 6198, T28-4). 4, *Retusotriletes nigritellus* (MP-P 6202, R28). 5, *Retusotriletes golatensis* (MP-P 6198, H52-2). 6, *Granulatisporites austroamericanus* (MP-P 6198, S56-3). 7-8, *Converrucosisporites confluens* (7: MP-P 6198, U29-3; 8: MP-P 6199, T43-3). 9, *Converrucosisporites micronodosus* (MP-P 6199, C52). 10, *Brevitriletes irregularis* (MP-P 6198, E44-1). 11, *Brevitriletes cornutus* (MP-P 6202, O38). 12, *Convolutispora candiotensis* (MP-P 6197, Q48-3). 13, *Horriditriletes gondwanensis* (MP-P 6201, P51). 14, *Horriditriletes uruguiensis* (MP-P 6200, L31-1). 15, *Verrucosisporites* sp. (MP-P 6198, D53-4). 16, *Kraeuselisporites spinosus* (MP-P 6198, T34-3). 17, *Lundbladisporea braziliensis* (MP-P 6200, U32). 18, *Lundbladisporea riobonitensis* (MP-P 6197, P28-3). 19, *Lundbladisporea riobonitensis* tetrad (MP-P 6199, G47-2). 20, *Laevigatosporites vulgaris* (MP-P 6202, O49-4). Scale: 10 µm.

Figure 6: Photo-documentation of selected species from the studied material. 1, *Cannanoropollis janakii* (MP-P 6198, Q49). 2, *Cannanoropollis densus* (MP-P 6198, J37-3). 3, *Plicatipollenites gondwanensis* (MP-P 6198, K46). 4, *Caheniasaccites flavatus* (MP-P 6198, H52-53). 5,

Divarisaccus stringoplicatus (MP-P 6198, E51). 6, *Potonieisporites methoris* (MP-P 6198, D32-2). 7, *Scheuringipollenites medius* (MP-P 6198, J29). 8, *Striatopodocarpites pantii* (MP-P 6198, K34). 9, *Protohaploxypinus limpidus* (MP-P 6198, K49-2). 10, *Hamiapollenites* cf. *fusiformis* (MP-P 6198, C46-3). 11, *Costapollenites ellipticus* (MP-P 6198, H47-4). 12, *Vittatina subsaccata* (MP-P 6198, O44). 13, *Vittatina costabillis* (MP-P 6199, T55). 14, *Vittatina vittifera* (MP-P 6199, H55). 15, *Portalites gondwanensis* (MP-P 6197, X50). 16, *Brazilea scissa* (MP-P 6200, T28). Scale: 10 μm .

Figure 7: Comparison of various proposals for the stratigraphic position of Outcrop Quitéria.

Table 1: List of the paleobotanical taxa identified in the two levels of macrofossils along the section of Quitéria Outcrop: Quitéria Base and Quitéria Top. The species are grouped according to their botanical affinity.

Table 2: List of the palynomorphs identified and their distribution along the study section.

Table 3: Determination of sporomorphs per stratigraphic level. The genus are grouped according to their botanical affinity.

Figure 1

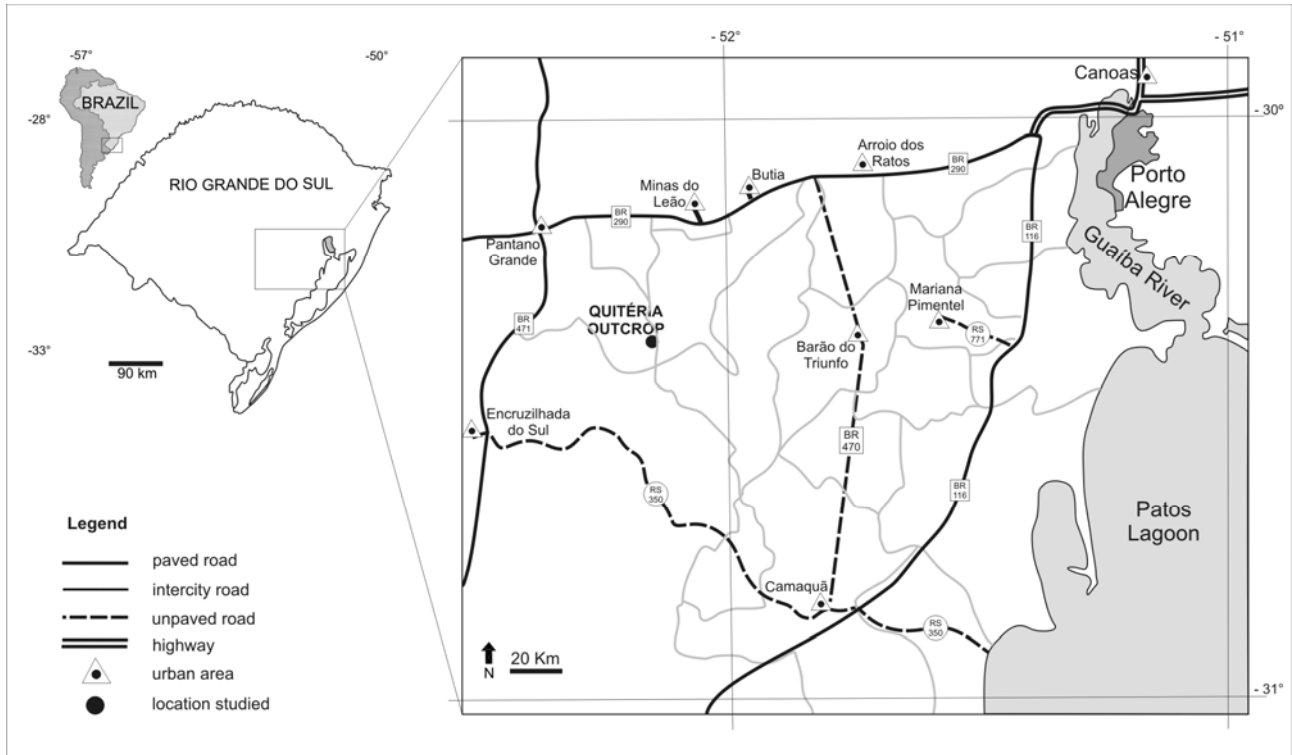


Figure 2

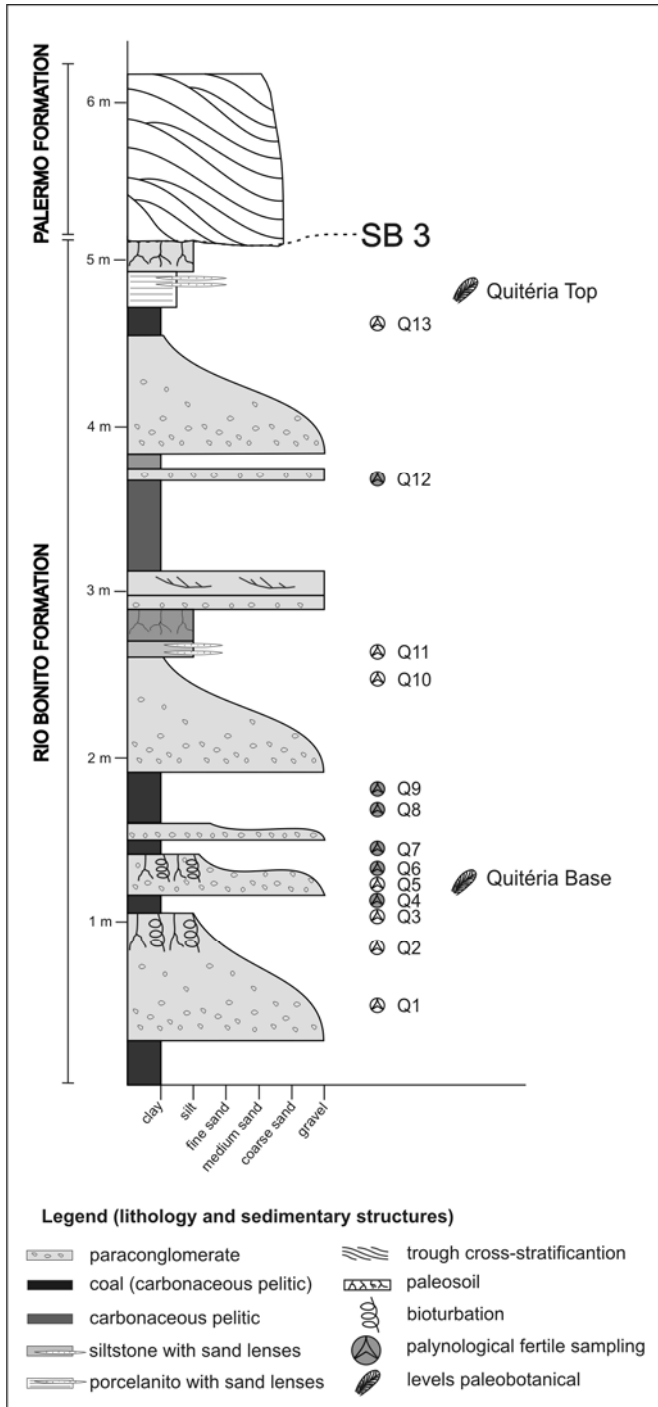


Figure 3

Taxonomy according our interpretation	Previous records	Stratigraphic position
<i>Brasilodendron pedroanum</i> (Carruthers) Chaloner, Leistikow and Hill 1979	Arborescent lycophyte (Piccoli, <i>et al.</i> , 1991, pg. 36, pl. 5; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995b, pl.3); <i>Brasilodendrum</i> (Jasper and Guerra-Sommer 1998, pg. 51; 1999, pg. 53, pl. 3 and 4; Jasper <i>et al.</i> , 2005, pg. 158); <i>Brasilodendrum pedroanum</i> (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 20 and 21, fig. 9, 10 and 11, tab. 4; Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg. 519 and 529; 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; 2008a, pg. 6, fig. 9; 2008b, pg. 439).	Quitéria Base Quitéria Top
<i>Lycopodites riograndensis</i> Salvi <i>et al.</i> 2008	<i>Lycopodites</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 20, fig. 13, tab. 4); <i>Lycopodites riograndensis</i> (Salvi <i>et al.</i> , 2008, pg. 558, fig. 3; Jasper <i>et al.</i> , 2008a, pg. 7; 2008b, pg. 439).	Quitéria Top
<i>Giridia quiteriensis</i> Boardman & Iannuzzi 2010	<i>Gondwanostachiaceae?</i> (Mombach and Guerra-Sommer, 1990, pl. 2); <i>Gondwanostachys</i> (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 36); <i>Gondwanostachys australis</i> (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg.68, pl. 1 and 2); <i>Giridia quiteriensis</i> (Boardman and Iannuzzi 2010, pg. 8, fig. 4 and 5).	Quitéria Base
<i>Phyllothea australis</i> (Brongniart) Townrow 1955	<i>Phyllothea indica</i> (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 36, pl. 4; Mombach and Guerra-Sommer, 1990, pl. 1); <i>Phyllothea australis</i> (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 68 and 70).	Quitéria Base
<i>Paracalamites australis</i> Rigby 1966	<i>Paracalamites</i> sp. (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 68 and 70).	Quitéria Base
Rhodeopterid fronds	<i>Rhodea</i> sp. (Piccoli <i>et al.</i> 1991, pg. 36, pl. 4; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 66); Rhodeopterid fronds (Jasper <i>et al.</i> , 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pag. 20, fig. 13, tab. 4).	Quitéria Base Quitéria Top
<i>Botrychiopsis valida</i> Archangelsky & Arrondo 1971	<i>Botrychiopsis</i> sp. (Jasper and Guerra-Sommer, 1999, pl. 2); <i>Botrychiopsis valida</i> (Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg. 524, fig. 5 and 6; 2005, pg. 158; 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; 2008a, pg. 5 and 6, fig. 5; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 20, fig. 13, tab. 4).	Quitéria Top
<i>Botrychiopsis plantiana</i> (Carruthers) Archangelsky and Arrondo 1971	<i>Botrychiopsis plantiana</i> (Iannuzzi and Boardman, 2008; Jasper <i>et al.</i> , 2008b, pg. 439).	Quitéria Top
<i>Arberia minnasica</i> (White) Rigby 1972	<i>Arberia minnasica</i> (Piccoli <i>et al.</i> 1991, pg. 35, pl. 4; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 66).	Quitéria Base
<i>Cordaicarpus</i> sp.	<i>Cordaicarpus</i> sp. (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 35)	Quitéria Base Quitéria Top
<i>Gangamopteris buriadica</i> Feistmantel 1879	<i>Rubidgea?</i> (Jasper and Guerra-Sommer, 1999, pl. 1); <i>?Rubidgea</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2008a, pg. 6, fig. 10) <i>Rubidgea</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg. 519 and 529; 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; 2008b, pg. 439; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 22, fig. 14, tab. 4); <i>?Cordaites</i> sp. (2008a, pg. 7, fig. 11); <i>Cordaites</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg. 519 and 529; 2005, pg. 158; 2006, pg. 284, fig. 6, tab. 1; 2008b, pg. 439; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 22, fig. 15, tab. 4); <i>Gangamopteris buriadica</i> (Tybusch and Iannuzzi, 2008, pg. 79, fig. 4 e 5).	Quitéria Top
<i>Gangamopteris revoluta</i> Tybusch and Iannuzzi 2008	<i>Gangamopteris revoluta</i> (this work).	Quitéria Top
<i>Glossopteris communis</i> Feistmantel 1876	<i>Glossopteris</i> sp. and <i>Glossopteris browniana</i> (Piccoli <i>et al.</i> 1991, pg. 35, pl. 4); <i>Glossopteris browniana</i> and <i>Glossopteris indica</i> (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995a, pg. 66); <i>Glossopteris</i> sp. (Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 1995b, pl. 1).	Quitéria Base
<i>Glossopteris browniana</i> Brongniart 1828	<i>Glossopteris</i> sp. (Jasper <i>et al.</i> , 2003, pg.519); <i>Glossopteris browniana</i> (Boardman <i>et al.</i> , 2006, pg. 13, fig. 3).	Quitéria Top
<i>Cori cladus quiteriensis</i> Jasper, Ricardi-Branco and Guerra-Sommer 2005	<i>Buriadia</i> sp. (Piccoli <i>et al.</i> , 1991, pg. 36, pl. 5); <i>Cori cladus quiteriensis</i> (Jasper <i>et al.</i> , 2005, pg. 160, figs. 2 - 7; 2006, pg. 284, fig. 6 and tab. 1; 2008a, pg. 6 and figs. 1 and 6; 2008b, pg. 439; Guerra-Sommer <i>et al.</i> , 2008a, pg. 12, fig. 14, tab. 4).	Quitéria Top

Figure 4

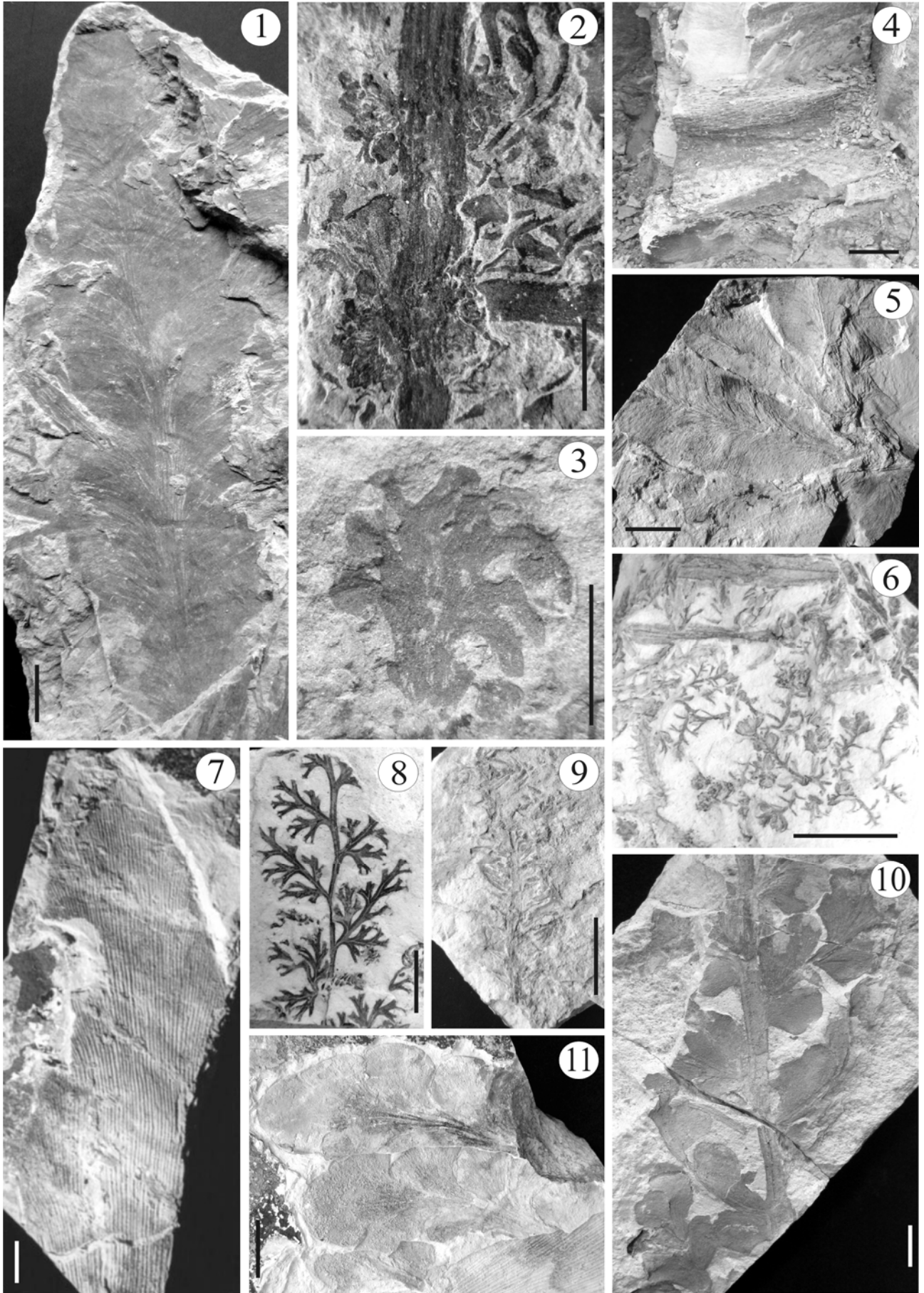


Figure 5

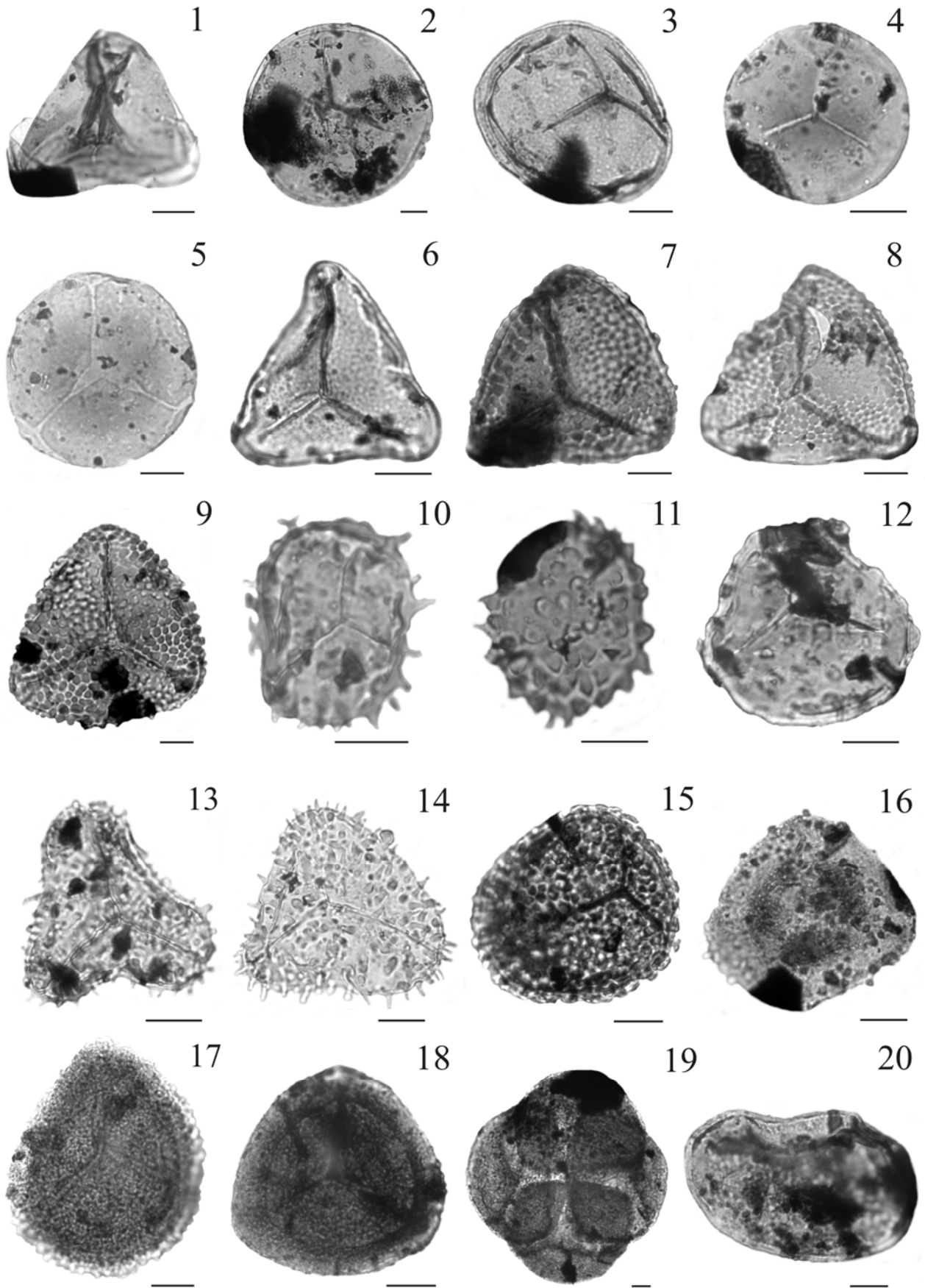


Figure 6

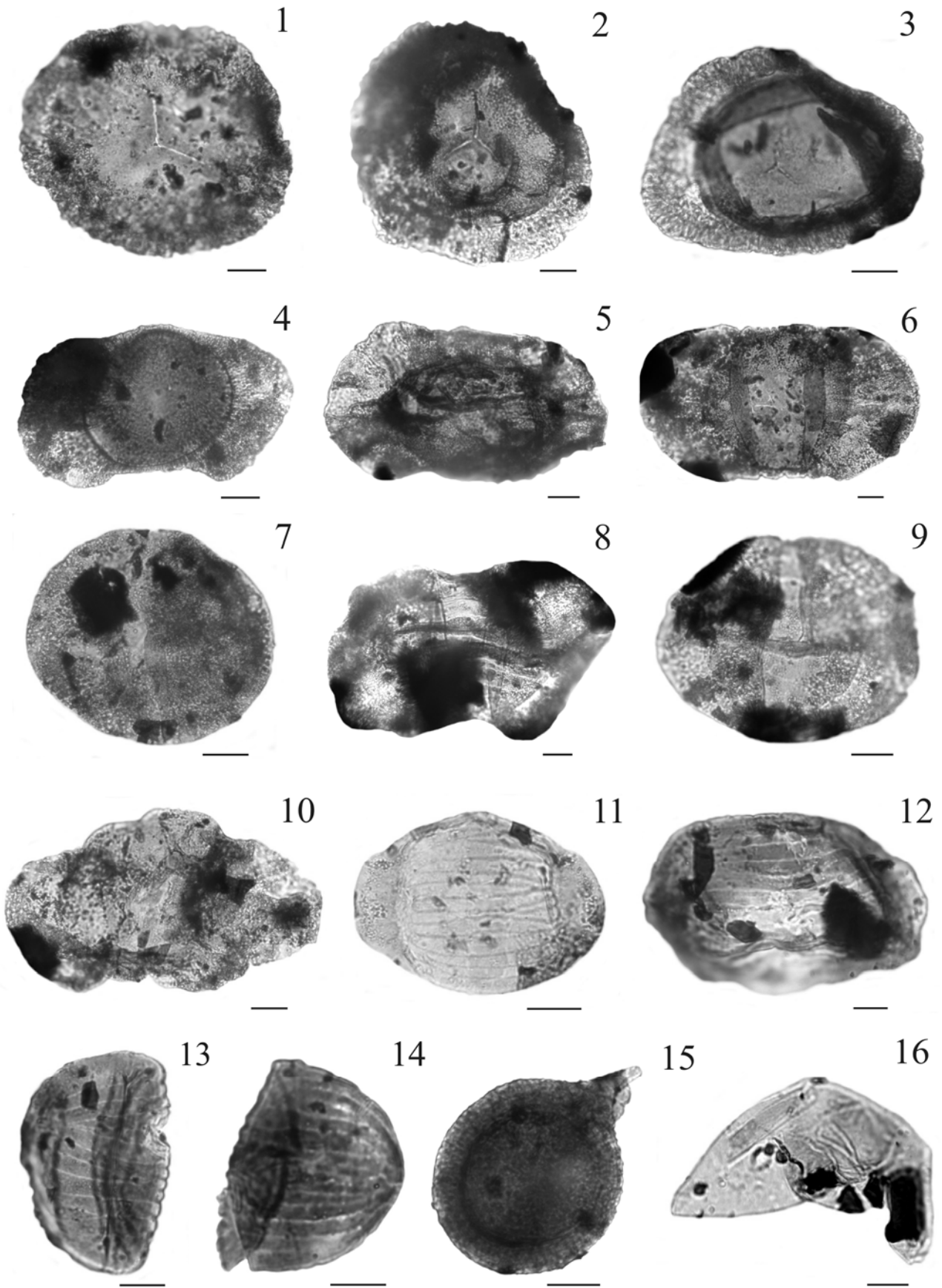


Figure 7

Stratigraphic section	Phytostratigraphy			Palynostratigraphy				Stratigraphy	
	Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993)	Jasper <i>et al.</i> (2003)	Iannuzzi <i>et al.</i> (2007, 2010) e this work	Jasper <i>et al.</i> (2006)		This work		Lithostratigraphy	Sequence stratigraphy (Holz <i>et al.</i> 2006)
	No register	No register	No register	No register		No register		Palermo Formation	Sequence 3SB3.....
	Glossopteris/Rhodeopteridium Zone	Botrychiopsis <i>valida</i> Subzone							
	Botrychiopsis <i>plantiana</i> Zone	Botrychiopsis Zone	Glossopteris/Rhodeopteridium Zone	Vittatina <i>costabilis</i> Zone	Hamiapollenites <i>karrooensis</i> Subzone	Vittatina <i>costabilis</i> Zone	Protohaploxylinus <i>goraiensis</i> Subzone	Rio Bonito Formation	Sequence 2
	Phyllothea <i>indica</i> Subzone	Botrychiopsis <i>plantiana</i> Subzone							

Table 1 - List of paleobotanical taxa identified in the two levels of macrofossils along the section of Quitéria Outcrop: Quitéria Base and Quitéria Top. The species are grouped according to their botanical affinity.

Paleobotanical material identified	FR(%)
QUITÉRIA BASE (based in 75 specimens)	
LYCOPSIDA	1.41
<i>Brasilodendron</i> sp.	1.41
SPHENOPSIDA	59.15
<i>Giridia quiteriensis</i> Boardman and Iannuzzi 2010	5.63
<i>Phyllothea australis</i> (Brongniart) Townrow 1955	12.68
<i>Paracalamites australis</i> Rigby 1966	40.85
FILICOPSIDA	1.41
<i>Rhodeopteridium</i> sp.	1.41
GLOSSOPTERIDALES	38.03
<i>Arberia minasica</i> (White) emend. Rigby 1972	6.94
<i>Glossopteris communis</i> Feistmantel 1876	15.49
<i>Glossopteris</i> sp.	9.86
<i>incertae sedis</i>	5.63
<i>Cordaicarpus</i> sp.	5.63
QUITÉRIA TOP (based in 694 specimens)	
LYCOPSIDA	44.73
<i>Brasilodendron pedroanum</i> (Carruthers) Chaloner, Leistikow and Hill 1979	42.35
<i>Lycopodites riograndensis</i> Salvi, Jasper, Ricardi-Branco, Bernardes-de-Oliveira and Guerra-Sommer 2008	2.38
FILICOPSIDA	1.78
<i>Rhodeopteridium</i> sp.	1.78
PTERIDOPHYLLA	7.58
<i>Botrychiopsis plantiana</i> (Carruthers) Archangelsky and Arrondo 1971	6.84
<i>Botrychiopsis valida</i> Archangelsky and Arrondo 1971	0.74
GLOSSOPTERIDALES	22.29
<i>Gangamopteris buriadica</i> Feistmantel 1879	14.12
<i>Gangamopteris revoluta</i> Tybusch and Iannuzzi 2008	0.15
<i>Gangamopteris</i> sp.	5.79
<i>Glossopteris browniana</i> Brongniart 1828	2.23
CONIFERALES	23.33
<i>Cori cladus quiteriensis</i> Jasper, Ricardi-Branco and Guerra-Sommer 2005	23.33
<i>incertae sedis</i>	0.30
<i>Cordaicarpus</i> sp.	0.30

The grey lines express the total relative frequency of each higher taxonomic group in each level.

Table 2 - List of the identified palynomorphs and their distribution along the studied section.						
Palynological Assemblages	Q4	Q6	Q7	Q8	Q9	Q12
SPORES						
<i>Acanthotriletes</i> spp.	X	X	X	X	X	X
<i>Ahrensia</i> spp.	X	X	X	X	X	
<i>Apiculiretusispora sparsa</i> Menendez and Azcuay 1971	X		X		X	X
<i>Brevitriletes cornutus</i> (Balme and Hennelly) Backhouse 1991	X	X				X
<i>Brevitriletes irregularis</i> (Nahuys, Alpern and Ybert) Césari, Archangelsky and Seoane 1995	X	X	X	X	X	X
<i>Calamospora</i> spp.	X	X	X	X	X	X
<i>Converrucosisporites confluens</i> (Archangelsky and Gamero) Playford and Dino 2002	X	X	X	X	X	X
<i>Converrucosisporites micronodosus</i> (Balme and Hennelly) Playford and Dino 2002	X		X	X		
<i>Convolutispora candiotensis</i> Ybert 1975	X	X	X	X	X	X
<i>Cyclogranisporites</i> spp.	X	X	X	X	X	X
<i>Granulatisporites austroamericanus</i> Archangelsky and Gamero 1979	X	X	X	X	X	X
<i>Horriditriletes gondwanensis</i> (Tiwari and Moiz) Foster 1975	X	X		X	X	
<i>Horriditriletes ramosus</i> (Balme and Hennelly) Bharadwaj and Salujha 1964	X	X				
<i>Horriditriletes superbus</i> (Foster) Césari, Archangelsky and Seoane 1995	X			X		
<i>Horriditriletes uruguaiensis</i> (Marques-Toigo) Archangelsky and Gamero 1979	X	X	X	X	X	X
<i>Horriditriletes</i> spp.	X	X	X	X	X	X
<i>Kraeuselisporites spinosus</i> Jansonius 1962		X	X			
<i>Laevigatosporites vulgaris</i> Ibrahim 1933	X	X		X		X
<i>Leiotriletes virkii</i> Tiwari 1965	X	X	X	X	X	X
<i>Lophotriletes</i> spp.	X	X	X	X	X	X
<i>Lundbladispota braziliensis</i> (Pant and Srivastava) Marques-Toigo and Picarelli 1984	X	X	X	X	X	X
<i>Lundbladispota riobonitensis</i> Marques-Toigo and Picarelli 1984	X	X	X	X	X	X
<i>Murospora bicingulata</i> Ybert 1975						X
<i>Punctatisporites gretensis</i> Balme and Hennelly 1956	X	X	X	X	X	X
<i>Retusotriletes baculiferous</i> Ybert 1975	X		X		X	
<i>Retusotriletes golatensis</i> Staplin 1960	X	X	X			
<i>Retusotriletes nigrifellus</i> (Luber) Foster 1979						X
<i>Retusotriletes simplex</i> Naumova 1953				X		
<i>Verrucosisporites</i> spp.		X	X	X	X	X
POLLEN GRAINS						
<i>Alisporites</i> spp.		X	X	X		X
<i>Caheniasaccites cf. elongatus</i> Bose and Kar 1966		X				
<i>Caheniasaccites flavatus</i> Bose and Kar 1966		X		X		X
<i>Cannanoropollis densus</i> (Lele) Bose and Maheshwari 1968		X				
<i>Cannanoropollis janakii</i> Potonié and Sah 1960		X				
<i>Costapollenites ellipticus</i> Tschudy and Kosanke 1956		X				
<i>Divarisaccus stringoplicatus</i> Ottone 1991		X				
<i>Fusacolpites fusus</i> Bose and Kar 1966				X		
<i>Fusacolpites ovatus</i> Bose and Kar 1966						X
<i>Hamiapollenites cf. fusiformis</i> Marques-Toigo 1974		X				
<i>Limitisporites</i> spp.		X	X	X	X	X
<i>Plicatipollenites gondwanensis</i> (Balme and Hennelly) Lele 1964		X				
<i>Plicatipollenites malabarensis</i> (Potonié and Sah) Foster 1975		X				
<i>Potonieisporites barrelis</i> Tiwari 1965			X			
<i>Potonieisporites cf. neglectus</i> Potonié and Lele 1961		X				
<i>Potonieisporites congoensis</i> Bose and Maheshwari 1968		X				
<i>Potonieisporites methoris</i> (Hart) Foster 1979		X				
<i>Potonieisporites marleniae</i> Playford and Dino 2000		X				
<i>Potonieisporites novicus</i> (Bhardwaj) Poort and Veld 1997			X			
<i>Potonieisporites</i> spp.		X	X			
<i>Protohaploxypinus amplus</i> (Balme and Hennelly) Hart 1964	X	X				
<i>Protohaploxypinus limpidus</i> (Balme and Hennelly) Balme and Playford 1967		X				
<i>Protohaploxypinus</i> spp.				X		X
<i>Scheuringipollenites medius</i> (Burjack) Dias-Fabricao 1981		X	X			X
<i>Stellapollenites talchirensis</i> Lele 1965		X				X
<i>Striatoabieites</i> spp.			X			
<i>Striatopodocarpites pantii</i> (Jansonius) Balme 1970		X				
<i>Vesicaspora</i> spp.	X	X	X			
<i>Vittatina corrugata</i> Marques-Toigo 1974		X				
<i>Vittatina costabillis</i> Wilson 1962		X	X			
<i>Vittatina saccata</i> (Hart) Playford and Dino 2000		X		X		
<i>Vittatina subsaccata</i> Samoilovich 1953		X				
<i>Vittatina vittifera</i> (Lüber and Valtz) Samoilovich 1953			X			
<i>Vittatina</i> spp.		X				X
cf. <i>Weylandites</i>					X	
Poliplicados indeterminados				X	X	X
OTHERS (algae elements and fungi)						
<i>Botryococcus braunii</i> Kutzing 1849	X				X	
<i>Brazilea scissa</i> (Balme and Hennelly) Foster 1975	X	X		X		X
<i>Portalites gondwanensis</i> Nahuys, Alpern and Ybert 1968	X	X	X	X	X	
<i>Tetraporina</i> spp.	X	X				X

Table 3 - Determination of sporomorphs per stratigraphic level, according to the botanical affinity (FR; %).

Genera identified	Q4	Q6	Q7	Q8	Q9	Q12
LYCOPSIDA	62.12	5135	71.97	23.80	81.44	1.06
<i>Kraeuselisporites</i>	0	0.27	0.29	0	0	0
<i>Lundbladispota</i>	62.12	51.08	71.68	23.80	81.44	1.06
SPHENOPSISIDA	2.79	5.92	1.45	11.50	0.78	3.20
<i>Acanthotriletes</i>	2.23	4.30	1.16	10.43	0.52	1.60
<i>Calamospora</i>	0.28	0.54	0.29	0.80	0.26	0.27
<i>Laevigatosporites</i>	0.28	1.08	0	0.27	0	1.33
FILICOPSIDA	20.35	27.42	16.45	58.57	7.50	90.97
<i>Apiculiretusispora</i>	0.56	0	0.29	0	0.26	2.66
<i>Brevitriletes</i>	1.67	2.42	0.29	1.07	0.26	2.93
<i>Converrucosisporites</i>	0.28	1.34	0.58	0.27	0.26	0.80
<i>Convolutispora</i>	0.28	0.27	0.29	0.27	0.26	0.27
<i>Cyclogranisporites</i>	1.39	3.76	3.15	12.83	2.32	16.22
<i>Granulatisporites</i>	3.06	2.42	3.18	5.08	1.29	36.44
<i>Horriditriletes</i>	2.79	5.11	2.31	22.73	1.03	6.38
<i>Leiotriletes</i>	6.69	4.03	2.60	3.21	0.52	0.27
<i>Lophotriletes</i>	2.23	6.72	2.31	12.3	0.52	8.78
<i>Punctatisporites</i>	0.56	0.27	0.87	0.27	0.26	10.37
<i>Retusotriletes</i>	0.84	0.81	0.29	0.27	0.26	2.66
<i>Verrucosisporites</i>	0	0.27	0.29	0.27	0.26	3.19
AFFINITY	0.28	0.27	0.29	0.27	0.26	0.27
UNKNOWN SPORE						
<i>Ahrensiporites</i>	0.28	0.27	0.29	0.27	0.26	0
<i>Murospora</i>	0	0	0	0	0	0.27
GLOSSOPTERIDALES	0.56	1.08	0.58	0.81	0.26	1.07
<i>Fusacolpites</i>	0	0	0	0.27	0	0.27
<i>Protohaploxypinus</i>	0.28	0.27	0	0.27	0	0.27
<i>Striatopodocarpites</i>	0	0.27	0	0	0	0
<i>Vesicaspora</i>	0.28	0.27	0.29	0	0	0
<i>Vittatina</i>	0	0.27	0.29	0.27	0	0.53
cf. <i>Weylandites</i>	0	0	0	0	0.26	0
CONIFERALES	0	3.77	1.16	1.07	0.26	1.59
<i>Alisporites</i>	0	0.27	0.29	0.27	0	0.27
<i>Caheniasaccites</i>	0	0.27	0	0.27	0	0.52
<i>Cannanoropollis</i>	0	0.54	0	0	0	0.27
<i>Divarisaccus</i>	0	0.27	0	0	0	0
<i>Hamiapollenites</i>	0	0.27	0	0	0	0
<i>Limitisporites</i>	0	1.34	0.29	0.53	0.26	0.53
<i>Plicatipollenites</i>	0	0.27	0	0	0	0
<i>Potonieisporites</i>	0	0.54	0.29	0	0	0
<i>Striatoabieites</i>	0	0	0.29	0	0	0
AFFINITY	0	0.81	0.29	0	0	0.80
UNKNOWN POLLEN						
<i>Costapollenites</i>	0	0.27	0	0	0	0
<i>Scheuringipollenites</i>	0	0.27	0.29	0	0	0.53
<i>Stellapollenites</i>	0	0.27	0	0	0	0.27
CHLOROPHYCEAE	0.28	0	0	0	0.26	0
<i>Botryococcus</i>	0.28	0	0	0	0.26	0
ZYGNEMAPHYCEAE	0.56	0.80	0	2.67	0	1.07
<i>Brazilea</i>	0.28	0.53	0	2.67	0	0.80
<i>Tetraporina</i>	0.28	0.27	0	0	0	0.27
FUNGI	13.09	8.60	7.80	1.34	9.28	0
<i>Portalites</i>	13.09	8.60	7.80	1.34	9.28	0

The grey lines express the total relative frequency of each higher taxonomic group in each level.

Capítulo 4

“Paleobotanical and palynological analysis of Faxinal Coalfield (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande do Sul, Brazil: taxonomy, biostratigraphy and paleoecological implications”.

Boardman, D.R., Iannuzzi, R., Souza, P.A. & Lopes, R.C.
International Journal of Coal Geology, submetido.

**PALEOBOTANICAL AND PALYNOLOGICAL ANALYSIS OF FAXINAL COALFIELD
(LOWER PERMIAN, RIO BONITO FORMATION, PARANÁ BASIN), RIO GRANDE DO
SUL, BRAZIL: TAXONOMY, BIOSTRATIGRAPHY AND PALEOECOLOGICAL
IMPLICATIONS**

Daiana Rockenbach BOARDMAN¹, Roberto IANNUZZI¹, Paulo Alves de SOUZA¹ and Ricardo da
Cunha LOPES²

¹Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do
Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91.509-000, Porto Alegre, RS, Brazil.

daiana.boardman@gmail.com, roberto.iannuzzi@ufrgs.br, paulo.alves.souza@ufrgs.br

² Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM – RS; Universidade do Vale do Rio dos
Sinos – UNISINOS. Av. Unisinos 950, CEP, São Leopoldo, RS, Brazil. ricardol.voy@terra.com.br

Corresponding author: Daiana Rockenbach Boardman. daiana.boardman@gmail.com.

Laboratorio de Palinologia Marleni Marques-Toigo, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia,
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500,
CEP 91.509-000, Porto Alegre, RS, Brazil. Telephone +55 51 33087386; Fax +55 51 33087302.

ABSTRACT

The sedimentary section exposed at the Faxinal Coalfield (Arroio dos Ratos, central portion of the Rio Grande do Sul State, Brazil) bears a few abundant fossil associations of plant remains and palynomorphs. This section includes coal deposits of the Rio Bonito Formation, Lower Permian of the Parana Basin. This contribution presents an updates of the paleobotanical taxa from Faxinal Coalfield based on an in-depth revision available data as well as the direct analysis from material deposited in paleontological collections (published and unpublished). According to this reevaluation, the Faxinal Coalfield bears 15 paleobotanical taxa in the tonstein level, mainly leaves

of Glossopteridales, composing a typical coal-forming flora. New palynological results from this section are derived from five levels, which revealed assemblages, generally, are not-well preserved, including 30 taxa of spores, 21 of pollen grains and 3 taxa related to algae elements. The associations are compatible with the *Glossopteris/Rhodeopteridium* Zone and with the *Protohaploxypinus goraiensis* Subzone (base of the *Vittatina costabilis* Zone), related to the Cisuralian, Lower Permian. Stratigraphical considerations are given based on the comparison with other neighboring sections, as well as with a regional erosion surface recognized in this outcrop.

Key words: Faxinal Coalfield, Phytostratigraphy, Palynostratigraphy, Lower Permian, Rio Bonito Formation, southern Paraná Basin.

1. Introduction

The coal-bearing deposits of southern Brazil bear abundant and diversified plant fossil remains concerning the “*Glossopteris* Flora” well distributed within the Permian Rio Bonito Formation, base of the Guatá Group in Paraná Basin. These records represent the greenhouse phase which followed the icehouse period in Gondwana during the end of the Paleozoic (Gastaldo et al., 1996; Montañez et al., 2007).

Several Permian taofloras have been taxonomically reanalyzed recently, resulting in biostratigraphic and paleoecological improvement (Boardman et al., 2006, unpublished results; Guerra- Sommer et al., 2008a, 2008b, 2008c; Iannuzzi et al., 2003a, 2003b, 2010; Jasper et al., 2003, 2005; Salvi et al., 2008; Tybusch and Iannuzzi, 2008, 2010;). Besides, palynological assemblages have been retrieved from related strata, offering refinements on these themes, as well new absolute datings (Mori et al., unpublished results) are allowing assignments with the International Stratigraphic Chart (Murphy and Salvador, 1999).

The main goal of this paper is presented the taxonomic reevaluation on both plant fossil and palynological contents from Faxinal Coalfield in order to discuss the stratigraphic position and

paleoecological interpretations on the basis of fossil record for this deposit. For this, the taxonomic revision on plant fossils was based on available data published and direct examination of specimens housed at paleobotanical collections. Furthermore, new specimens were collected directly by the present authors. New samples were also collected for palynological studies, providing a deep biostratigraphic and paleoecological analysis for this outcrop. An updated list of paleobotanical and palynological taxa is presented and a detailed discussion about the Faxinal Coalfield is given herein, taking into account the phytostatigraphic (Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig, 1993) and palynostratigraphic (Souza and Marques-Toigo, 2003, 2005; Souza, 2006) schemes. A correlation of this deposit with sequence stratigraphic schemes established for the southeastern border of the Paraná Basin (Holz et al., 2006) is also furnished.

2. Geological, paleontological and biostratigraphical context

2.1. Stratigraphy

The Paraná Basin covers about 1.700.000 km², distributed mainly in Brazil, but also in Paraguay, Uruguay and Argentina. This intracratonic basin comprises with *ca.* 6.200 m of Paleozoic and Mesozoic sediments, as well as Mesozoic volcanic rocks (Schneider et al., 1974; Milani, 1997). According to Milani (1997), the basin includes six supersequences, limited by significant unconformities, i.e., Rio Ivaí (Rio Ivaí Group of Ordovician-Silurian age), Paraná (Silurian/Devonian), Gondwana I (Tubarão and Passa Dois Groups, Pennsylvanian-Permian), Gondwana II (Triassic units), Gondwana III (São Bento Group, Late Jurassic-Early Cretaceous) and Bauru (Bauru Group, Late Cretaceous). The three oldest sequences correspond to expressive transgressive cycles during the Paleozoic, while the other ones represent continental deposits and associated Mesozoic igneous rocks.

Pennsylvanian-Permian strata from the Paraná Basin correspond to the Gondwana I Supersequence, which represents a long transgressive-regressive cycle, lithostratigraphically including the Pennsylvanian-Cisuralian Tubarão Group (Itararé Subgroup, and Aquidauana, Rio

Bonito, Palermo and Tatuí formations) and the Cisuralian-Lopingian Passa Dois Group (Irati, Serra Alta, Corumbataí and Rio do Rasto formations). This supersequence is lithologically heterogeneous as respond of different processes and environments, involving glacial and post-glacial conditions, comprising marine, continental and transitional facies (Milani and Zalán, 1999). The Rio Bonito Formation represents the onset of post-glacial conditions in this portion of the Gondwana, during the Early Permian. Sandstones are predominant in this unit; pelites associated with thick levels of coal are very common, representing a typical transitional environment, related to deltas, lagoons and estuaries (Milani, 1997). These deposits carry a diverse and abundant fossil record, comprising continental and marine faunas and plant macro- and microfossils (Holz et al., 2010; Rocha-Campos, 1967). Based on the analysis of surface and subsurface data, Holz et al. (2006) recorded three depositional sequences in the Lower Permian deposits in the southern part of the Paraná Basin (RS). The second (S2) and the third (S3) sequences are correlated to the deposits of Rio Bonito and Palermo formations, respectively. These units are bounded by an erosive surface named as SB3.

According to Cazzulo-Klepzig et al. (2007), strata of the Faxinal Coalfield were deposited under fluvial deltaic conditions, based on paleobotanical and palinological data, with a minor marine influence. Mineralogical and textural aspects obtained from a tonstein level recorded in this coalfield suggest a rapid volcanic ash precipitation (Simas, 2008). Cazzulo-Klepzig et al. (2009) verified different plant fossil communities in tonstein and underlying and overlying this volcanic level.

Some absolute datings were obtained for the Coalfield Faxinal, and represent significant efforts to improve the geochronological calibration of these deposits. Ages varied from 290.6 ± 1.5 My to 288.76 ± 1.4 My (Guerra-Sommer et al., 2006, 2008a, 2008b), suggesting an early Artinskian - late Sakmarian interval for this deposit.

2.2. Paleontological data setting

Several paleobotanical and palynological works were realized from the coal levels and

adjacent strata outcropping in the Faxinal Coalfield (Adami-Rodrigues *et al.* 2004; Cazzulo-Klepzig, 2001; Cazzulo-Klepzig *et al.*, 1989, 2007, 2009; Dias and Guerra-Sommer, 1994; Guerra-Sommer, 1988, 1989, 1992; 1995; Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig, 2001; Guerra-Sommer *et al.*, 1984, 1991, 2001). Studies of organic petrography are also available (Guerra-Sommer *et al.*, 1984; Henz, 1986).

The plant fossil association comprising mainly *Cordaites* leaves and others identified as several species of genus *Glossopteris*, are directly related to the Permian *Glossopteris* Flora (Guerra-Sommer, 1988, 1989, 1992), which has a widespread distribution along the Gondwana deposits. In addition, it also occurs seeds and fructifications associated to *Glossopteris* and rarely a species to Pteridophyta (Guerra-Sommer, 1988, 1989, 1992). The macrofloristic content of Faxinal Coalfields was regarded as a complementary reference section of the *Glossopteris/ Rhodeopteridium* Zone of Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993).

Some palynological associations were recorded in Faxinal Coalfield (Cazzulo-Klepzig *et al.*, 2007, 2009; Dias and Guerra-Sommer, 1994; Guerra-Sommer *et al.*, 1984). Based on these previous data, Guerra-Sommer *et al.* (2006, 2008a) assigned *Hamiapollenites karrooensis* Subzone to this location. However, in the same year, Guerra-Sommer *et al.* (2008b) considered that the levels of tonstein Candiota Mine to Faxinal Coalfield originated in the same range of volcanic activity, assumed the position of Candiota for Mine Faxinal, i.e., in *Protohaploxypinus goraiensis* Subzone.

2.3. *Phytostratigraphy*

The Permian plant succession of the southern portion of the Paraná Basin was analyzed by Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993), Jasper *et al.* (2003), Iannuzzi and Souza (2005) and Rösler (1978).

The phytozonation proposed for Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993) and reviewed by Iannuzzi *et al.* (2007) constitutes the scheme currently applied to this portion of the basin. It is composed of two assemblage zones, in ascending stratigraphic order: *Botrychiopsis plantiana* and

Glossopteris/Rhodeopteridium zones. The first is subdivided into *Gangamopteris obovata* and *Phyllothea indica* subzones.

Currently, the *Botrychiopsis plantiana* Zone is characterized by the appearance of the first glossopterids and by occurrence of *Gangamopteris obovata*. The occurrence of this zone would be related to the oldest Permian strata of the Rio Grande do Sul State, i.e., the Itararé Subgroup, which is late Sakmarian in age (Iannuzzi et al., 2010). The *Gangamopteris obovata* Subzone is identified by the abundance of *Gangamopteris* species associated to relict taxa of Carboniferous ages, such as *Botrychiopsis plantiana* and absence of several taxa to overlying subzone, as *Phyllothea indica*, *Glossopteris occidentalis*. The *Phyllothea indica* Subzone is defined mainly by the availability and abundance of *Phyllothea indica*, the appearance of *Glossopteris occidentalis*, *Scutum* sp. and *Kawizophyllum* sp. and the occurrence of *Stephanophyllites* sp., *Samaropsis kurtzii*, *Cheyrophyllum speculare*. In addition, the significant increasing of *Glossopteris* leaves in comparison with the concomitant reduction in frequency of *Gangamopteris* ones characterizes this subzone (Iannuzzi et al., 2007).

The *Glossopteris/Rhodeopteridium* Zone is characterized by the occurrence *Sphenopteris* cf. *ischanonensis*, *Rhodeopteridium* sp. *Brasilodendrum pedroanum*, *Plumsteadia sennes*, several species of *Glossopteris* (*G. browniana*, *G. mosesii* and *G. obovata* var. *major*), *Arberia minasica*, among others. This zone is linked to the youngest Early Permian strata in Rio Grande do Sul, early Artinskian in age, corresponding to the Rio Bonito Formation (Iannuzzi et al., 2007). The significance of stratigraphic boundary surfaces and palynological data were also analyzed by Iannuzzi et al. (2007; 2010).

2.4. Palynostratigraphy

Several palynostratigraphic frameworks were proposed to the Pensilvanian-Permian interval of the Paraná Basin. Among them, Daemon and Quadros (1970) offered the most comprehensive stratigraphic and geographic approach (Souza and Milani, 2007). New boreholes and outcropping

sections were studied after that, have improved the palynological succession. Souza and Marques-Toigo (2003, 2005) and Souza (2006) presented frameworks based on interval zones characterized by well defined limits of appearance and disappearance of selected taxa, which reflect the general succession of the sporomorphs in the basin.

According to those authors, the Late Paleozoic succession of the Paraná Basin is constituted of four interval zones, in ascending stratigraphic order: *Ahrensporites cristatus* (AcZ), *Crucisaccites monoletus* (CmZ), *Vittatina costabilis* (VcZ) and *Lueckisporites virkkiae* (LvZ). The AcZ and CmZ characterize the Pennsylvanian interval of the basin, relative to the lower and medium portions of the Itararé Subgroup, recorded from the northeastern part of the basin. Only the two last units are observed in Rio Grande do Sul State (RS) and part of Santa Catarina (SC), and they are identified from the top of the Itararé Subgroup until the upper units of the Passa Dois Group.

From the top of the Itararé Subgroup until Rio Bonito Formation can be verified the basal levels of occurrence of the VcZ, which extends until the top of Rio Bonito Formation. The VcZ is limited at the bottom by the first appearance of species of the genus *Vittatina* (*V. saccata*, *V. subsaccata*, *V. costabilis*, *V. vittifera*), species of *Protohaploxylinus* (*P. goraiensis*, *P. limpidus*), *Fusacolpites fusus* and *Illinites unicus*; this zone is limited at the top by the appearance of diagnostic species of the overlying LvZ. The VcZ is divided into two units: *Protohaploxylinus goraiensis* Subzone (PgSz), determined by the range of *P. goraiensis*, *P. limpidus* and *Illinites unicus*, and *Hamiapollenites karrooensis* Subzone (HkSz), defined mainly by the range of the eponymous species and by the first appearance of *Striatopodocarpites fusus* and *Staurosaccites cordubensis*. The PgSz includes coal seams from RS and SC, earlier related to the *Caheniasaccites ovatus* Subzone (Marques-Toigo 1988, 1991), considered as ecofacies within the VcZ (Souza and Marques-Toigo, 2003, 2005; Souza, 2006).

The LvZ occurs stratigraphically above the VcZ, from the top of Rio Bonito Formation until the base of Palermo Formation. According to Neregato (2007) and Neregato et al. (2008), it reaches up the base of the Rio do Rasto Formation, (Serrinha Member). The LvZ is limited at the

bottom by the last appearance of *Hamiapollenites karrooensis*, *Stellapollenites talchirensis*, *Lundbladispora riobonitensis*, *Potonieisporites novicus*, and by the first appearance of several species of taeniate and polyplicate pollen grains, such as *Lueckisporites* (*L. virkkiae*, *L. stenotaeniatus*, *L. agoulaensis*), *Marsupipollenites striatus*, *Pakhapites fasciolatus*, *Protohaploxylinus* (*P. hartii*, *P. seawardi*, *P. microcorpus*), *Lunatisporites variesectus*, *Alisporites nuthallensis*, *Striatopodocarpites pantii*, *Weylandites lucifer* and *Staurosaccites*. The base of the LvZ is an important biostratigraphic *datum* to the basin. The LvZ is limited at the top by the disappearance of *Lueckisporites* species.

3. Material and methods

3.1. Location of the study area

The Faxinal Coalfield is located at the km 152 of the BR290 highway, Arroio dos Ratos municipality (30°15'38"S 51°41'58"W), Rio Grande do Sul State, Brazil, distant 120 km southwest of Porto Alegre (Figure 1). Until 2009, coal exploration from these deposits were made by COPELMI LTDA, which allowed the last paleontological sampling. Currently, the area is inactive, in process for environmental restoration.

Figure 1: Location map of the Faxinal Coalfield.

3.2. Paleobotanical material

Several field works were conducted to the Faxinal Coalfield resulting in new samples for paleobotanical and palynological analyzes. The former samples are housed at the Museu de Paleontologia, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DPE/IG/UFRGS), under MP-Pb abbreviation. The additional material of this location previously housed at the DPE/IG/UFRGS, as well as samples housed at Laboratório de História da Vida e da Terra, Universidade do Vale do Rio dos Sinos

(LaViGaea/UNISINOS), under ULVG abbreviation, were also reanalyzed. Thus a total of 263 samples from Faxinal Coalfield were analyzed.

The most of the plant specimens from the Faxinal Coalfield include leaf epidermis (cuticle) well preserved, which are very important for systematic studies. However, as almost of the records of plant macrofossils in the Paraná Basin (as in most of the Permian deposits) the cuticle is not preserved, the morphospecies identified based on epidermal pattern are not generally used in biostratigraphic frameworks. Thus, the review of plant fossil material (identification, counting) was based only on the morphospecies preserved as adpressions or impressions which are identified on the basis of leaf morphology (= morphographic features) only. In this way, the taxa marked with asterisk (*) in Table 1 correspond to morphospecies identified based on epidermal pattern (Guerra-Sommer, 1988, 1989, 1992), which may represent one or more morphospecies (Tybusch and Iannuzzi, in preparation).

The taxonomic list available herein provides an updated revision of the paleobotanical diversity of the Faxinal Coalfield. Initially, the analysis and identification of the plant fossil material has been taken based the previous taxonomic studies (Guerra-Sommer, 1988; 1989; 1992). However, bearing in mind the above-mentioned problems on correspondence amongst morphospecies with and without anatomic features (cuticle) preserved, the counting of the leaves *Glossopteris*-type occurred just in generic level. The suprageneric classification follows the proposal of Stewart and Rothwell (1993). The estimated relative frequency (RF) - for the paleobotanical and palynological data – was calculated according to the percentages of each taxon.

3.3. Palynological material

Sixteen samples of different stratigraphic levels were collected for palynological analysis, which were named as MF1 to MF16 (Figure 2). The technical procedures were conducted at the Laboratório de Palinologia “Marleni Marques Toigo”, DPE/IG/UFRGS, following the standard method for Paleozoic samples, described in Quadros and Melo (1987). About 10 g of each sample

was separated and mechanically dissociated and then exposed to hydrochloric and hydrofluoric acids for dissolution of the carbonate and silicate compounds. The slides were mounted from the residues between 25 and 250 μm , separated from manual sieving. All the slides are housed at the above mentioned laboratory, under codes MP-P 6662 to 6681. From palynological samples previously studied, only the coal level at below the tonstein (Dias and Guerra-Sommer, 1994) was found and reanalyzed. Sixteen slides of this level were found, all cataloged with the same registration number (MP-P 3289) which were reorganized with the number followed by the letters (a to o). Slides MP-P3289a and 3289b were selected for the identification and counting of sporomorphs. This material is related to level MF11, herein sterile to sporomorphs.

The taxonomic identification of the palynomorphs was made under optical microscope, with magnification of 200 to 1000x. A minimum count sums of 300 specimens per stratigraphic level was considered for the quantitative characterization. Guide species of the biozones of Souza and Marques-Toigo (2003, 2005) and Souza (2006) were used for the biostratigraphical assignments. The general classification of the palynofloras into paleobotanical groups is based on Stewart and Rothwell (1993), while the botanical affinities are based on Azcuy (1978) and Balme (1995).

4. Results

4.1. Stratigraphic profile

The outcropping deposits of Faxinal Coalfield comprise about 23 m in thickness (Figure 2). The lower portion (0 to 13m) is constituted of coal seams interbedded with pelitic and silty levels. A tonstein level occurs at about 9 m between two coal layers. A package coarsening upward with siltstones, sandstones and conglomerates characterizes the upper portion (13 to 23 m). Paleosoils are recurrent within these deposits mainly at the lower portion.

Figure 2: Stratigraphic section of Faxinal Coalfield indicating the levels with studied paleobotanical and palynological samples.

Figure 3 introduces the Faxinal Coalfield in the context of Mariana Pimentel Paleovalley, in which positions these coal deposits in the uppermost portion of the Rio Bonito Formation, just below the erosive surface SB3 (Holz et al., 2000, 2006).

Figure 3: Correlation of Faxinal Coalfield to the context of Mariana Pimentel paleovalley. This figure shows a sequence of boreholes since beginning of paleovalley Coalfield in an inner portion. Three sequences are identified based on the criteria Holz et al. (2000).

4.2. Paleobotany

The revision of the collections that house paleobotanical material from Faxinal Coalfield identified 15 taxa in the tonstein level (Table 1, Figure 4). Besides an update of the systematic data representing the locality diversity, this analysis allowed to estimate the relative frequency of each genus.

Table 1: List of paleobotanical taxa identified in the tonstein level at the Faxinal Coalfield: The species are grouped according to their botanical affinity; and the counting of the leaves of *Glossopteris* occurred to generic levels.

Figure 4: Paleobotanical material from Faxinal Coalfield. 1, branch *Glossopteris communis* (MP-Pb 2790). 2, *Cordaites* sp. (MP-Pb 4575b). 3, *Plumsteadia sennes* (MP-Pb 2706). 4, *Sphenopteris* cf. *S. ischanovensis* (MP-Pb 3978). 5, *Glossopteris occidentalis* (MP-Pb 3125). Scale: 10mm.

The Faxinal Coalfield yields an assemblage dominated by Glossopteridales (81.08%), with RF 78.05% of the several species of *Glossopteris* leaves, 2.02% of the reproductive structures and 1.01% of the seeds, followed by the Cordaitales, e.g. *Cordaites*-Type leaves, with RF 17.57%. Pteridophyta, represented by *Sphenopteris* cf. *S. ischanovensis* occurs with RF 1.35%. Paleosols are applied throughout the section and together to branches with leaves of genus *Glossopteris* are found to crossing the plane of layering in the tonstein bed. Insect-plant interactions are also present in leaves of *Glossopteris* and *Cordaites*, as the studied by Adami-Rodrigues et al. (2004).

4.3. Palynology

Generally, the palynological levels retrieved are not-well preserved and are constituted mainly for opaque phytoclasts. The best results were obtained from 5 levels (MF2, MF5, MF6, MF10 and MF11). In the some others (MF1, MF7, MF9, MF11 to MF14), the assemblages are composed by few and semi-destroyed palynomorphs.

A total of 54 taxa were identified, including 30 of spores, 21 of pollen grains and 3 taxa related to algalic elements. The complete list these taxa and their stratigraphic distribution along to the section is presented in the Table 2. The relative frequency of each taxon is given at generic level, grouped according to their botanical affinities (Table 3). The most common palynomorphs and those identified as index-species were preferentially illustrated (Figures 5 and 6).

Table 2: List of the identified palynomorphs and their distribution along the studied section.

Table 3: Determination of sporomorphs per stratigraphic level, according to the botanical affinity.

Figure 5: Photomicrographs of selected species from the studied material. 1, *Punctatisporites gretensis* (MP-P 3289a, B43-1). 2, *Granulatisporites austroamericanus* (MP-P 6667, M-Q42-43). 3, *Cyclogranisporites parvigranulosus* (MP-P 6667, J37). 4, *Cyclogranisporites firmus* (MP-P 6669, O39-1). 5, *Converrucosisporites confluens* (MP-P 6667, G51). 6, *Horriditriletes uruguayensis* (MP-P 6670, L40-3). 7, *Horriditriletes gondwanensis* (MP-P 6669, R48-3). 8, *Lunbladispota riobonitensis* (MP-P 3289a, E41). 9, *Vallatisporites* sp. (MP-P 6667, U54-3). 10, *Cristatisporites* sp. (MP-P 3289a, K36). 11, Tetrad of *Lunbladispota braziliensis*(MP-P 3289a, X42). 12, *Tymospora criciumensis* (MP-P 6667, C45-3). Scale: 10 µm.

Figure 6: Photomicrographs of selected species from the studied material. 1, *Caheniasaccites flavatus* (MP-P 6667, M43-2). 2, *Plicatipollenites densus* (MP-P 3289a, Q41-4). 3, *Potonieisporites densus* (MP-P 3289a, J32-33). 4, *Protohaploxypinus limpidus* (MP-P 3289a, C42-1). 5, *Protohaploxypinus goraiensis* (MP-P6668, B45-1). 6, *Vesicaspora* sp. (MP-P 6668, U47-1). 7, *Vittatina subsaccata* (MP-P 6667, U27-2). 8, *Fusacolpites ovatus* (MP-P 6668, F38-2). 9, *Lueckisporites virkkiae* (MP-P 6663, M50). 10, *Brazilea scissa* (MP-P 6667, E39). 11, *Maculatasporites gondwanensis* (MP-P 3289a, B42). 12, *Maculatasporites minimus* (MP-P 3289a, F35-2). Scale: 10 µm.

In general, the palynological assemblages observed along the section are dominated by spores, which reach up 99,69%. Spores associated to different plant groups were observed, such as Lycopsida (*Lundbladispora*, *Cristatisporites* and *Vallatisporites*), Sphenopsida (*Calamospora* and *Laevigatosporites*) and Filicopsida (*Cyclogranisporites*, *Punctatisporites*, *Granulatisporites* and *Horriditriletes*). Pollen grains are rare. They are represented by few specimens related to Gimnospermopsida, such as Glossopteridales (*Protohaploxylinus*, *Vittatina* and *Fusacolpites*,) and Coniferales (*Caheniasaccites*, *Alisporites* and *Limitisporites*) (Table 3).

Filicopsida is the dominant group in the most levels, with RF higher than 82%, except at MF11. *Punctatisporites* and *Cyclogranisporites* are the most representative genera; the former is abundant in MF2, MF6 and MF10 while the last one is dominated in MF5 (Table 3). Lycopsida is dominant in MF11 (RF 51.34%), rare in MF5 (RF 3.56%) and absent in the others levels. Sphenopsida occurs in all levels, being most representative in MF10 (RF 6.81%).

The pollen grains are more representative in only three levels, MF2, with RF 15.04%, MF5, with RF 4.15% and MF11, with RF 8.3%. *Scheuringipollenites*, *Vesicaspora* and *Protohaploxylinus* are the most abundant.

5. Discussion

5.1. Stratigraphic correlation

The Mariana Pimentel Paleovalley is an extension of the sedimentation area of the Paraná Basin on the northern boundary of the Sul-Riograndense Shield (Figure 7), which extends from south of the Leão Coalfield toward a granitic-gneiss basement of Late Proterozoic age. This paleovalley has been interpreted as an ancient valley developed during the Late Carboniferous glaciation and filled with glacial and post-glacial sediments during the latest Carboniferous and Early Permian time interval (Lopes et al., 2003).

Figure 7: Simplified geology and coal deposits throughout the northern boundary of the Sul-Riograndense Shield of the Mariana Pimentel Paleovalley. Adapted from Lopes et al. (2003).

This record includes sedimentary rocks belonging to the Itararé (Taciba Formation) and Guatá (Rio Bonito and Palermo formations) groups. The Rio Bonito Formation is distinguished by the presence of coal seams that in the three sectors of the paleovalley form the Faxinal, Cerro do Roque and Água Boa coalfields (Aboarrage and Lopes, 1986).

Based on Holz et al. (2000), three sequence boundaries (Figure 4) are identified at the correlation between the Mariana Pimentel Paleovalley and the Leão Coalfield. The older boundary (SB1) limits the Late Proterozoic basement to units of Gondwana, the second (SB2) marks the boundary between the sedimentary glacial succession and the post-glacial succession of continental and transitional nature, while the third (SB3) is placed between the transitional and continental deposits and the marine/ transitional characterizing the base of the Permian marine transgression (Lavina and Lopes, 1987).

The Taciba Formation is recorded in the AB6RS and SL1RS boreholes, with thicknesses of 131 and 181 meters without reaching the basement. Rhythmites are dominant and consist of alternating layers of gray siltstone and fine to very fine sandstone, in varying proportions. Siltstones, mudstones and dark-gray shales record periods of increased water depth near paleovalleys. Interspersed with these layers are sandstones, with paraconglomerates and orthoconglomerates subordinate. Its upper contact with the Rio Bonito Formation is interpreted as a sequence boundary (SB2, Figure 4), forming an erosional surface that marks the fluvial incision on the glacial/ peri-glacial deposits.

Two distinct intervals are identified in the Rio Bonito Formation. The basal interval, with thicknesses varying from 27 to 127 meters depending on the paleorelief, is composed predominantly of layers of medium to coarse arkosic sandstones that are solid or interbedded with thin layers of gray to dark-gray siltstone, heterolithic siltic and arenaceous, and gray to dark-gray and carbonaceous siltstones. The upper interval, with thicknesses between 13 and 127 meters, is

composed predominantly of gray to dark-gray and carbonaceous siltstones, interspersed with coal seams, paraconglomerate with silty-carbonaceous matrix, and sandstones. The deposits of the Faxinal Coalfield are included in the uppermost portion of this unit. The upper contact of the Rio Bonito Formation occurs with a succession that is heterolytic in the distal section, pelitic in the western portion, and sandy in the proximal portions of the paleovalley. This contact is interpreted as a sequence boundary (SB3, Figure 4), which in the distal sections is coplanar with the transgressive surface marking the base of the Early-middle Permian marine transgression corresponding to the Palermo Formation. Above the coastal deposits is a heterolithic succession from the marine-shelf deposition of the Palermo Formation until the base of the limestones of the overlying Irati Formation.

5.2. Paleobotany and palynology

The plant fossil specimens from Faxinal Coalfield are preserved as compressions, in which the organic matter of the cuticles did not undergo oxidation or alteration, preserving important information. Taxonomic identifications based on the leaf epidermis are systematically more accurate than those based only on the leaf morphology (Guerra-Sommer, 1988, 1989, 1992). However, assemblages of this type are rarely recorded in the Paraná Basin. In addition, each specimen must be processed in the laboratory for extraction and analysis of the epidermis, often with inconclusive results. For biostratigraphic studies, which seek to correlate a large number of locations, identification based only on leaf morphology is the most appropriate, because it covers a wide range of paleobotanical assemblages.

Based on the analysis of plant fossil specimens and previously published taxonomic evaluations, the Faxinal Coalfield records 15 paleobotanical taxa. Table 1 lists the taxa of the Faxinal Coalfield, including both species described from epidermal features and those erected based only on morphographic features. In several cases these taxa correspond, such as *Rufloria gondwanensis* and *Cordaites* sp. (Guerra-Sommer, 1988, 1989). However, leaves of *Glossopteris*

that were erected on the basis of the epidermal pattern may represent more than one species in morphographic terms. The epidermal pattern of *Glossopteris papillosa* occurs both in the morphospecies *G. communis* and in *G. indica* (Guerra-Sommer, 1992; Tybusch and Iannuzzi, in preparation). Guerra-Sommer (1992) also indicated the similarity of *G. similis-intermittens* with *G. intermittens* and *G. browniana*, and of *G. brasiliensis* with *G. browniana* and *G. angustifolia*.

The field of the Glossopteridales (80%), the typical element of the "Flora *Glossopteris*", followed by Cordaitales as observed in this study, is even more pronounced than in previous results for the same level (Dias and Guerra-Sommer, 1994; Guerra-Sommer, 1988, 1992; Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig, 2000). The predominance of arborescent taxa, even adjacent to the peat-forming environments, indicate that this community lived in a transitional environment, relatively distant from water bodies, forming a meso-hygrophilous assemblage (Cúneo, 1983), as was also proposed by Guerra-Sommer et al. (1991), indicating a fluvial-deltaic environment more restricted by marine influence (Cazzulo-Klepzig et al., 2007).

The five palynological levels analyzed here (Table 2) show a relative similarity to each other, with the field of spores compared to pollen grains (Table 3). Filicopsida (mainly *Punctatisporites* and *Cyclogranisporites*) are the dominant elements in four of five levels, representing a flora associated with hygrophilous, hygro-mesophilic and even mesophilic environments (Cuneo, 1983; Raven et al., 2007; Remy and Remy, 1977). MF11, the coal underlying the tonstein, differs somewhat from the other levels because of the significant presence of Lycopsida and *Maculaporites*. Thus, the field of Filicopsida, the considerable presence of pollen grains in MF2 and MF11, the rare occurrence of Lycopsida and algalic elements, except in MF11, and the absence of *Portalites* indicate a hygro-mesophilic assemblage for the levels studied.

The carbonaceous sequence with several coal layers interbedded with mudstones and siltstones of the Faxinal Coalfield records the sedimentary origin in a fluvial-deltaic transitional environment, typical of the peats generating coals of Gondwana. Within this context, it is evident

that the small differences found between the levels sampled represent only a slight lateral variation of the same sedimentary environment.

An in-depth palynological analysis based on previous works from this locality was difficult because only selected taxa were listed and/or illustrated in these studies (Cazzulo-Kleipzig, 2001; Cazzulo-Kleipzig et al., 2007, 2009; Dias and Guerra-Sommer, 1994; Guerra-Sommer et al., 1984, 2008a, 2008b). Searching to relate the levels sampled herein with those analyzed in previous studies, it was possible to associate MF7 to the P2 level of Cazzulo-Kleipzig et al. (2007), MF11 to the level studied by Dias and Guerra-Sommer (1994), and MF11 and MF12 to the levels adjacent to tonstein studied by Cazzulo-Kleipzig et al. (2009). None of the levels analyzed here and corresponding to previous studies proved to contain fertile sporomorphs. On the other hand, reanalysis of the slides used by Dias and Guerra-Sommer (1994) allowed the inclusion of the MF11 level in the present study.

The results recorded here are similar to those of Guerra-Sommer et al. (1984), with the spore domain rather than pollen grains. However, the taxon most representative of the assemblages analyzed by Guerra-Sommer *et al.* (1984) was *Lundbladispora*, which is abundant here in only one level, MF11. *Portalites* was also referred to as abundant, but is absent in this review. Our results also differ from those obtained by Cazzulo-Kleipzig et al. (2007), because these authors recorded a domain of pollen grains, especially bisaccate pollen. Cazzulo-Kleipzig et al. (2007) also emphasized the absence of *Botryococcus* and the low frequency of algalic elements and fungi typical for a coal deposit, similar to most of the levels analyzed here.

Comparing our results with the palynological communities of peat-forming plants described by Marques-Toigo and Corrêa da Silva (1984), only level MF11 can be correlated with the "*Lundbladispora-Punctatisporites-Portalites* Association". For the other levels, no correlation was possible because of the rarity of Lycopsida spores and the low representation of pollen grains recovered here. Guerra-Sommer et al. (1991) demonstrated a correlation of the Faxinal Coalfield

with the “*Scheuringipollenites-Caheniasaccites* Association” by Marques-Toigo and Corrêa da Silva (1984), based on the frequency of macroflora taxa.

With a view toward a correlation between the results of paleobotanical and palynological from Faxinal Coalfield, the palynological levels studied here (MF2, MF5, MF6, MF10 and MF11) did not show an equivalence to the paleobotanical results, even considering only the major groups of plants. In the palynological analysis, the spores (Filicopsida, Licopsida, Sphenopsida) have an extensive field (exceeding 67%) on the pollen grains (Glossopteridales, Coniferales), while in the paleobotanical assemblage, Glossopteridales were predominant (80%).

Correlating the paleobotanical results recorded here with the palynological analysis for the level of tonstein and adjacent coals furnished by Cazzulo-Klepzig et al. (2009), there is a similarity between the macroflora from the tonstein and the microflora from the overlying coal (Figure 2), with a high incidence of pollen grains, especially those related to Glossopteridales. These authors reported a differentiation of the microflora along the depositional sequence of Faxinal Coalfield due to the influence of sedimentation of volcanic ash, from an assemblage dominated by Lycopsida in the underlying coal and in the tonstein, to a domain of bisaccate pollen grains in the overlying coal.

5.3. Biostratigraphy

The Faxinal Coalfield was erected as the stratotype of the *Glossopteris/ Rhodeopteridium* Zone by Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993). Iannuzzi et al. (2007) conducted a review of the zonation, and modified the stratigraphic range and geographical distribution of many taxa.

Among the plant macrofossils recovered in the Faxinal Coalfield assemblage (Table 1), *Sphenopteris* cf. *S. ischanovens* and *Plusmteadia sennes* are the only exclusive taxa in the *Glossopteris/ Rhodeopteridium* Zone. But because both are endemic to this locality, they are not good biostratigraphic markers. *Sphenopteris* occurs only at the generic level in another location (Mariana Pimentel, Iannuzzi et al. 2010), where was recovered from a level (N8) assigned to the *Glossopteris/ Rhodeopteridium* Zone. *G. occidentalis*, which was previously referred to this locality

(*Glossopteris* cf. *occidentalis* by Guerra-Sommer et al., 1983), and regarded as exclusive to the *Glossopteris/ Rhodopteridium* Zone in the original framework, had its lower range extended to the *Phyllothea indica* Subzone by Iannuzzi et al. (2007). *G. browniana*, which is also exclusive to the *Glossopteris/ Rhodopteridium* Zone and was taken as the morphospecies of *G. riograndensis* (Guerra-Sommer, 1988), *G. brasiliensis* and *G. similis-intermittens* (Guerra-Sommer, 1988, 1992), was not recorded in the present study.

Thus, based only on the plant species content, both the *Phyllothea indica* Subzone and the *Glossopteris/ Rhodopteridium* Zone can be assigned to the Faxinal Coalfield, except for the presence of “ferns”, as *Sphenopteris* spp., a plant group restricted to *Glossopteris/ Rhodopteridium* Zone until now. However, the stratigraphic position of the Faxinal Coalfield (Figure 3) in the Rio Bonito Formation, in Sequence 2 (S2) of Holz et al. (2000, 2006) and just below the SB3 sequence boundary, allows the *Glossopteris/ Rhodopteridium* Zone to be assigned this location, since only this zone occurs in the Rio Bonito Formation, along the S2, as recorded by Iannuzzi et al. (2003a, 2003b, 2007).

Several papers have positioned stratigraphically the palynological assemblages recovered in the Faxinal Coalfield, but with differing results. Dias and Guerra-Sommer (1994), based on the record of *Maculatasporites* species, positioned the Faxinal Coalfield in the upper portion of the *Caheniasaccites ovatus* Subzone and the base of *Hamiapollenites karroensis* Subzone by Marques-Toigo (1988). However, this taxon is not considered a biostratigraphic marker (Marques-Toigo, 1991, Souza and Marques-Toigo, 2001, 2003, 2005; Souza, 2006). Guerra-Sommer et al. (2008a) based on previous palynological studies (Cazzulo-Klepzig, 2001; Dias and Guerra-Sommer, 1994; Guerra-Sommer et al., 1984), assigned *Hamiapollenites karroensis* Subzone to the Faxinal Coalfield (Marques-Toigo, 1991; Souza and Marques-Toigo, 2003, 2005). However, these authors did not explain their choice, and none of the taxa mentioned in the text constitutes an index for this assignment. Guerra-Sommer et al. (2008b) considered that the tonstein levels of the Candiota and Faxinal mines are contemporary, and, based on the general sedimentological and paleontological

context for both localities, assigned the same palynostratigraphic position assigned at Candiota to the Faxinal Coalfield, within the *Protohaploxylinus goraiensis* Subzone. However, no biostratigraphic marker was also mentioned.

For the palynostratigraphic analysis of assemblages reported here, we used the framework developed by Souza and Marques-Toigo (2003, 2005). The presence of *Protohaploxylinus goraiensis* and *Illinites unicus* allowed us to refine the biostratigraphic position, indicating the lower subzone of the VcZ, i.e., the *Protohaploxylinus goraiensis* Subzone for this section. No diagnostic taxon of the *Hamiapollenites karrooensis* Subzone was recovered. We also observed the occurrence of *Lueckisporites virkkiae* in the MF5 level, the taxon guide for the overlying *Lueckisporites virkkiae* Zone. However, the assemblages had typical features of the *Vittatina costabilis* Zone, with the abundance of spores and striated and polyplicate pollen grains subordinate.

The presence of a marker pollen grain specimen of the *Lueckisporites virkkiae* Zone is regarded here as evidence of its early appearance. These first occurrences of guides of the LvZ were also observed in the transition between the Rio Bonito and Palermo formations in the southern basin, in the region of Candiota (Mori, 2010; Mori and Souza, 2010), and the Quitéria Outcrop, Pantano Grande (Boardman et al., unpublished results), located near the Faxinal Coalfield in Rio Grande do Sul. Mori (2010) demonstrated, in two boreholes (RS-05-HN and HN-25-RS), that the interval between the top of the Rio Bonito Formation and the base of Palermo Formation shows "transitional" characteristics in biostratigraphic terms. In this interval, certain species of the VcZ reach levels of the LvZ. However, this latter zone has been recorded since the higher levels of the Rio Bonito Formation, confirming assumptions by previous authors (Daemon and Quadros, 1970). These characteristics were also observed by Beri et al. (2004) in an adjacent area of the Basin in Uruguay, as summarized by Souza et al. (2007). This observation suggests a new biostratigraphic subdivision for this sector of the Basin (Mori, 2010).

Comparing the microfloristic composition from localities in Rio Grande do Sul that record this transition between LvZ and PgSz, the palynological assemblages from the Faxinal Coalfield show a pattern very similar to that recorded in the Quitéria Outcrop, showing typical characteristics of the PgSz. This differs from the Candiota region, where the LvZ is already recorded downwards in sequence 2 (S2), below the SB3 sequence boundary. As mentioned by Boardman et al. (unpublished results), the SB3 sequence boundary would have acted differently between regions, with the sediments of the Rio Bonito Formation in the Quitéria Outcrop and the Faxinal Coalfield being more intensively eroded than in the Candiota region.

Thus, the assignment of the Faxinal Coalfield to the *Protohaploxypinus goraiensis* Subzone is based on the presence of a large number of typical taxa of this unit, some of them stratigraphically restricted, as well as on the absence of diagnostic species for the HkSz and the rare occurrence of guides from the LvZ.

6. Conclusions

The Faxinal Coalfield is considered an important location in the Rio Bonito Formation deposits in the southern portion of the Paraná Basin, since, until recently, its coal layers were economically exploited (Figure 7). Furthermore, it features a typical roof-shale flora, with relatively undiversified coal deposits, but with preserved epidermal material, which allows more detailed taxonomic and paleoenvironmental studies. This distinguishes it from most other localities with plant fossils that contain only specimens with the morphographic features preserved.

Our review of plant macrofossil specimens from the Faxinal Coalfield has focused mainly on the taxonomy based on morphographic features. This characteristic is generally used in phytostратigraphic studies, because most specimens are preserved in this form. This survey allowed us to update the paleobotanical taxa present in the Faxinal Coalfield, allowing correlations with other plant communities from the southern Paraná Basin. However, because of the low diversity and the endemism of the several forms recorded in the Faxinal Coalfield, and the gaps still existing in

the phytostatigraphic framework that is currently used for this sector of the basin, it was necessary to resort to the stratigraphic position to assign the Faxinal Coalfield to the *Glossopteris/Rhodeopteridium* Zone. This zone corresponds to the B and C Taphofloras of Rösler (1978) and to the *Glossopteris-Brasilodendron* Flora of Iannuzzi and Souza (2005), covering the whole of the Paraná Basin, and can be also associated with the *Glossopteris* Zone in Argentina and Uruguay (Archangelsky et al., 1980). It may also be correlated to the Lower Permian floras of Australia and India (Maheshwari and Bajpai, 2001; Retallack, 1980).

Palynological analysis of the Faxinal Coalfield recorded, in most cases, sporomorph sets that are relatively undiversified and often poorly preserved. They show a typical composition of the *Protohaploxylinus goraiensis* Subzone, the lower portion of the *Vittatina costabilis* Zone. This zone is correlated with the *Cristatisporites inconstans* – *Vittatina subsaccata* Zone (Beri et al., 2004) of Uruguay and the *Potonieisporites* – *Lundbladispota* (Russo et al., 1980; Vergel, 1993) and *Fusacolpites fusus* – *Vittatina subsaccata* zones (Césari and Gutiérrez, 2000) of Argentina. However, the rare forms recovered typical of the zone overlying, ZLv, indicate a transition between the two palynozones, which have previously been recorded in the southern sector of the Paraná Basin, both in Brazil (Mori, 2010; Mori and Souza, 2010) and at equivalent levels on the Uruguayan side (Beri et al., 2004).

In general, the data analyzed here support the assignment of the section of the Faxinal Coalfield to the uppermost portion of the Rio Bonito Formation. Stratigraphically, its coal seams are positioned just below the SB3, and the palynostratigraphic analysis revealed rare transition elements between PgSz and LvZ.

Acknowledgements

The authors would like to thank Dra. Tânia L. Dutra from Laboratório de História da Vida e da Terra (LaViGaea) of Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) for hosting us at her institution to analyze of the paleobotanical material from Faxinal Coalfield; to Dr. Claiton M. S.

Scherer from the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) for her assistance in measuring the stratigraphic section at the locality. This research was funded by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), with the research projects 401769/2010-0, 480385/2010-6 (PAS) and 483463/2007-8 (RI) and by the grants of doctorate scholarship 140631-2006/2 (DRB) and by the “Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul” (FAPERGS) with the research project PqG1015846 (RI). The authors also would like thank to CNPq for a Researcher Support Grant (PAS and RI) and a doctoral scholarship (DRB).

References

- Aboarrage, A.M., Lopes, R.C. 1986. Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica. Porto Alegre, DNPM - CPRM, v.18 (internal report).
- Adami-Rodrigues, K., Souza, P.A., Iannuzzi, R., Pinto, I.D. 2004. Herbivoria em floras gondvânicas do Neopaleozóico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa. *Revista Brasileira de Paleontologia* 7(2), 93-102.
- Archangelsky, S., Azcuy, C., Pinto, I.D., Gonzalez, C.R., Marques-Toigo, M., Rösler, O., Wagner, R.H. 1980. The Carboniferous and early Permian of the South American Gondwana area: a summary of biostratigraphic information. 2º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía and 1º Congreso Latinoamericano de Paleontología, Actas, Buenos Aires, 4, 257-269.
- Azcuy, C.L. 1978. Posible significado paleoecológico de microfloras gondwanicas del Paleozoico Superior, especialmente argentinas. *Ameghiniana* 15(1-2), 85-95.
- Balme, B.E. 1995. Fossil in situ spores and pollen grains: an annotated catalogue. *Review of Palaeobotany and Palynology* 87, 81-323.
- Béri, A., Gutiérrez, P.R., Cernuschi, F., Balarino, L. 2004. Palinoestratigrafia del Pérmico de la Cuenca Paraná, Uruguay. 11º Reunión de Paleobotánicos e Palinólogos, *Boletim de Resumos, Gramado*, 1, pp. 29.

- 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.
- Boardman, D.B., Souza, P.A., Iannuzzi, R., Mori, A.L.O. Unpublished results. Paleobotanical and palynological analysis from Quitéria Outcrop (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande Do Sul, Brazil: taxonomy, biostratigraphy, and paleoecological implications.
- Cazzulo-Klepzig, M. 2001. Palinologia aplicada à reconstituição das unidades de paisagem e dinâmica das turfeiras formadoras dos carvões permianos do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PhD Thesis, 300 pp.
- Cazzulo-Klepzig, M., Piccoli, A.E.M. and Marques-Toigo, M. 1989. Reconhecimento de um marco estratigráfico com significado paleoecológico no Permiano da Bacia do Paraná (Grupo Guatá e Passa Dois). 11º Congresso Brasileiro de Paleontologia, Anais, Curitiba, 1, pp. 970-981.
- Cazzulo-Klepzig, M., Guerra-Sommer, M., Menegat, R., Simas, M.W., Mendonça Filho, J.G. 2007. Peat-forming environment of Permian coal seams from the Faxinal coalfield (Paraná Basin) in Southern Brazil, based on palynology and palaeobotany. *Revista Brasileira de Paleontologia* 10(2), 117-127.
- Cazzulo-Klepzig, M, Mendonça Filho, J.G., Guerra- Sommer, M., Menezes, T.R., Simas, M.W., Mendonça, J.O., Degani-Schmidt, I. 2009. Effect of volcanic ash-fall on a Permian peat-forming environment, on the basis of palynology, palynofacies and paleobotany (Faxinal Coalfield, Brazil). *Revista Brasileira de Paleontologia* 12(3), 179-194.
- Césari, S.N., Gutiérrez, P.R. 2000. Palynostratigraphy of Upper Paleozoic sequences in Central-Western Argentina. *Palynology* 24, 113-146.
- Cúneo, R. 1986. Paleoecologia de microsecuencias plantíferas del Grupo Rio Guenoa, Pérmico de Chubut, Argentina. *Ameghiniana* 1-2, 11-131.

- Daemon, R.F., Quadros, L.P. 1970. Bioestratigrafia no Neopaleozóico da Bacia do Paraná. 24° Congresso Brasileiro de Geologia, Brasília, Anais, Brasília 1, pp. 359-412.
- Dias, M.E., Guerra-Sommer, M. 1994. Integração entre dados mega e microflorísticos na Jazida do Faxinal, Rio Grande do Sul: estudos preliminares. *Acta Geologica Leopoldensia* 39(1), 249-260.
- Gastaldo, R.A., Walther, H. Rabold, J., Ferguson, D. 1996. Criteria to distinguish arautochthonous 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. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PhD Thesis, 751 pp.
- 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 glossopteridales da Taoflora do Faxinal (Formação Rio Bonito, Artinskiano- Kunguriano, Bacia do Paraná, Brasil). *Pesquisas* 19, 26-40.
- Guerra-Sommer, M. 1995. Fitofagia em Glossopterídeas na Paleoflora da Mina do Faxinal (Formação Rio Bonito, Artinskiano, Bacia do Paraná). *Pesquisas em Geociências* 22(1-2), 58-63.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. 1993. Bioestigraphy of the southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence: a preliminary paleobotanical approach. 12° Congreso Internacional de la Stratigraphie et Geologie du Carbonifere et Permian, *Comptes Rendus*, Buenos Aires 2, pp. 61-72.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. 2000. Permian Palaeofloras in Southern Brazilian Gondwana. *Revista Brasileira de Geociências* 30(3), 486-491.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M. 2001. 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*. Editora da Universidade – UFRGS, Porto Alegre, pp. 67-84.

- Guerra-Sommer, M., Backheuser, Y., Silveira, J.B. 1983. Estrutura Epidérmica de Glossopteridales no Eogondwana Brasileiro: I. *Glossopteis* da Formação Rio Bonito (Faxinal) RS. 1º Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Atas, Porto Alegre, 1, pp. 184-197.
- Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M., Paim, P.S.G., Henz, G.I., Silveira, J.B.R., Backeuser, Y. 1984. Estudo microflorístico e petrológico dos carvões da Mina do Faxinal, Formação Rio Bonito (Permiano), RS. Boletim do Instituto de Geociências da USP 15, 73-83.
- Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M., Corrêa da Silva, Z.C. 1991. Original biomass and coal deposition in southern Brazil (Lower Permian. Paraná Basin). Bulletin de la Societe Geologique de France 162(2), 227-237.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R. 2001. Roof-Shale floras in the Early Permian Southern Brazilian Gondwana: evidences of the warming of an Ice house stage, in: Weiss, H. (Ed.). Contribution to Geology and Paleontology of Gondwana. Colônia - Alemanha: Geologisches Institut, pp. 231-252.
- Guerra-Sommer, M., Santos, J.O.S., Cazzulo-Klepzig, M., Hartmann, L.A., Menegat, R., McNaughton, N.J. 2006. The geochronological significance of tonstein in coal-bearing strata from the southern Paraná Basin. 5º South American Symposium on Isotope Geology, Short Papers, Punta del Este, 1, pp. 254-257.
- Guerra Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Menegat, R., Formoso, M.L.L., Basei, M.A.S., Barboza, E.G., Simas, M.W. 2008a. Geochronological data from the Faxinal coal succession, southern Paraná Basin, Brazil: a preliminary approach combining radiometric U–Pb dating and palynostratigraphy. Journal of South American Earth Sciences 25, 246-256.
- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Ketzer, J.M., Formoso, M.L.L. 2008b. Radiometric age determination of tonsteins and stratigraphic constraints for the Lower Permian coal succession in southern Paraná Basin, Brazil. International Journal of Coal Geology 74, 13–27.

- Guerra-Sommer, M., Cazzulo-Klepzig, M., Formoso, M.L.L., Menegat, R., Mendonça, J.G. 2008c. U-Pb dating of tonstein layers from a coal succession of the southern Parana Basin (Brazil): A new geochronological approach. *Gondwana Research* 14, 474-482.
- Henz, G.I. 1986. *Organopetrologia e organogeoquímica dos carvões da Jazida do Faxinal, Município de Arroio dos Ratos, RS, Brasil*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Master Thesis, 158 pp.
- 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., Kückle, 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. and 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^o International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy, Utrecht, 1, pp.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 Seqüência Gondwanica Sul-Riograndense: Estudo de Caso do Afloramento Morro do Papaléo (Bacia do Paraná, Permiano Inferior). 1^o

Encontro sobre estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias (Porto Alegre) Anais, 1, pp. 182-185.

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. 2010. Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS. Registro ímpar da sucessão pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná. in: Winge, M. et al. (Eds.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, v. 2, pp. 321-336.

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.

Lavina, E.L.C., Lopes, R.C. 1987. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Subgrupo Tubarão no estado do Rio Grande do Sul. Paula-Coutiana 1, 51-103.

Lopes, R.C., Lavina, E.L.C., Paim, P.S.G., Goldberg, K. 2003. Controle estratigráfico e deposicional na gênese dos carvões da região do Rio Jacuí (RS). in: Paim, P.S.G., Faccini, U.F., Netto, R.G. (Eds.). Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares: estudos de casos. São Leopoldo, Unisinos, pp. 59-77.

Maheshwari, H., Bajpai, U. 2001. Phytostatigraphical succession in the *Glossopteris* Flora of India, Revista Universidade Guarulhos Geociências 6, 22-34.

- Marques-Toigo, M., 1988. Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Thesis, 259 pp.
- Marques-Toigo, M. 1991. Palynobiostratigraphy of the southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence. 7^o International Gondwana Symposium, Proceedings, São Paulo, 1, pp. 503-515.
- Marques-Toigo, M., Corrêa da Silva, Z.C. 1984. On the origin of gondwanic south Brazilian coal measures. *Comunicações Serviços Geológicos de Portugal* 70(2), 151-160.
- Milani, J.E. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-oriental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Thesis, 255p.
- 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. CO₂-forced climate and vegetation instability during Late Paleozoic deglaciation. *Science* 315, 87–91.
- Mori, A.L.O. 2010. Análise palinoestratigráfica de depósitos permianos da Bacia do Paraná no sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: uma nova proposta bioestratigráfica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Thesis, 289 pp.
- Mori, A.L.O., Souza, P.A. 2010. Palinologia das formações Rio Bonito e Palermo em Candiota, RS, Brasil. *Ameghiniana*, 47(1), 61-78.
- Mori, A.L.O, Souza, P.A., Marques, J.C., Lopes, R.C. 2011. A new U-Pb zircon age dating and palynological data from a Lower Permian section of the southernmost Paraná Basin, Brazil: biochronostratigraphical and geochronological implications for Gondwana correlations. Gondwana Research, (unpublished results).
- Murphy, M.A., Salvador, A. 1999. International Stratigraphic Guide - An abridged version. *Episodes* 22, 255-271.

- Neregato, R. 2007. Estudo palinológico das Formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto nos furos de sondagem SP-23-PR e SP-58-PR, centro-norte do Paraná (Permiano, Bacia do Paraná). Universidade Estadual Paulista, Master Thesis, 107 pp.
- Neregato, R., Souza, P.A., Rohn, R. 2008. Registros Palinológicos Inéditos nas Formações teresinae Rio do Rasto (Permiano, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná). Implicações biocronoestratigráficas e paleoambientais. *Pesquisas em Geociências* 35(2), 9-21.
- Quadros, L.P., Melo, J.H.G. 1987. Método prático de preparação palinológica em sedimentos pré-mesozóicos. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 1(2), 205-214.
- Raven P.H., Evert R.F., Eichhorn S.E. 2007. *Biologia Vegetal*, seventh ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Remy, W., Remy, R. 1977. *Die Floren des Erdaltertunms*. Essen, Glückauf.
- Retallack, G.J. 1980. Late Carboniferous to Middle Triassic megafossil floras from the Sydney Basin. *Bulletin of the Geological Survey of New South Wales* 26, 385-430.
- Rocha-Campos, A.C. 1967. The Tubarão Group in the brazilian portion of the Paraná Basian, in: Bigarella, J.J., Becker, R.D., Pinto, I.D. (Eds.). *Problems in Brazilian Gondwana Geology*, pp. 27-102.
- Rösler, O. 1978. The Brazilian eogondwanic floral sucessions. *Boletim do IG-USP* 9, 85-91.
- Russo, A., Archangelsky, S. and Gamarro, J.C. 1980. Los depósitos suprapaleozoicos en el subsuelo de la llanura Chaco-Pampeana, Argentina. 2° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1° Congreso Latinoamericano de Paleontología, *Actas, Buenos Aires*, 4, pp. 157-173.
- 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.
- Schneider, R.L., Muhlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F., Nogueira A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. 1° Congresso Brasileiro de Geologia, 1, pp. 41-65.

- Simas, M.W., 2008. Origem vulcânica para o tonstein da jazida do Faxinal (RS): estudos mineralógicos, petrográficos e de palinofácies. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Master Thesis, 117 pp.
- Souza, P.A. 2006. Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* 138, 9-29.
- 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, P.A., 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 Ciências*. **77**(2), 353-365.
- Souza, P.A., Milani, E.J. 2007. O pioneirismo do zoneamento palinoestratigráfico de Daemon e Quadros (1970): um marco no conhecimento estratigráfico da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 15, 118-130.
- Souza, P.A., Vergel, M.M., Beri, A. 2007. Pennsylvanian and Permian Palynostratigraphy of the Paraná/Chacoparaná Basins in Brazil, Argentina and Uruguay: an integrative analysis. , in: Díaz-Martínez, E., Rábano, I. 4^o European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin American. *Cuadernos del Museo Geominero* 8, 361-366.
- Souza, P.A., Marques-Toigo, M., 2001. Zona *Vittatina*: marco palinoestratigráfico do Permiano Inferior da Bacia do Paraná. *Ciência Técnica do Petróleo, Sec., Expl. Petr.* 20: 153–159.
- Stewart, W.N., Rothwell, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. First ed. Cambridge University Press, 521 pp.
- 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. and Iannuzzi, R. 2011. Avaliação das folhas de *Glossopteris* da Mina do Faxinal, RS (Permiano Inferior, Bacia do Paraná). (In preparation).
- Tybusch, G.P., Iannuzzi, R. 2010. *Glossopteris occidentalis* White emended: geographic and biostratigraphic implications. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 13(1), 33-40.
- Vergel, M.M. 1993. Palinoestratigrafía de la secuencia neopaleozoica en la Cuenca Chacoparanense, Argentina. *12° Congrès International de la Stratigraphie et Geologie du Carbonifere et Permien* (Buenos Aires). *Comptes Rendus* 1: 201-212.

Figure 2:

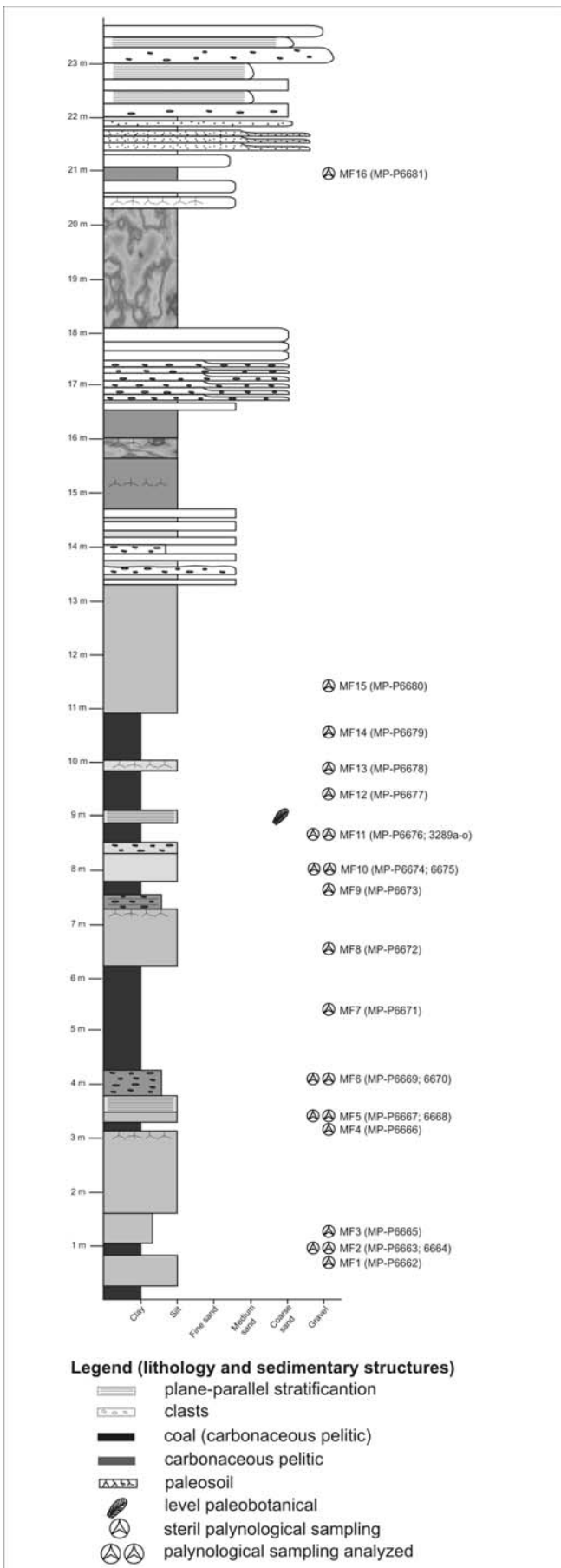


Figure 3:

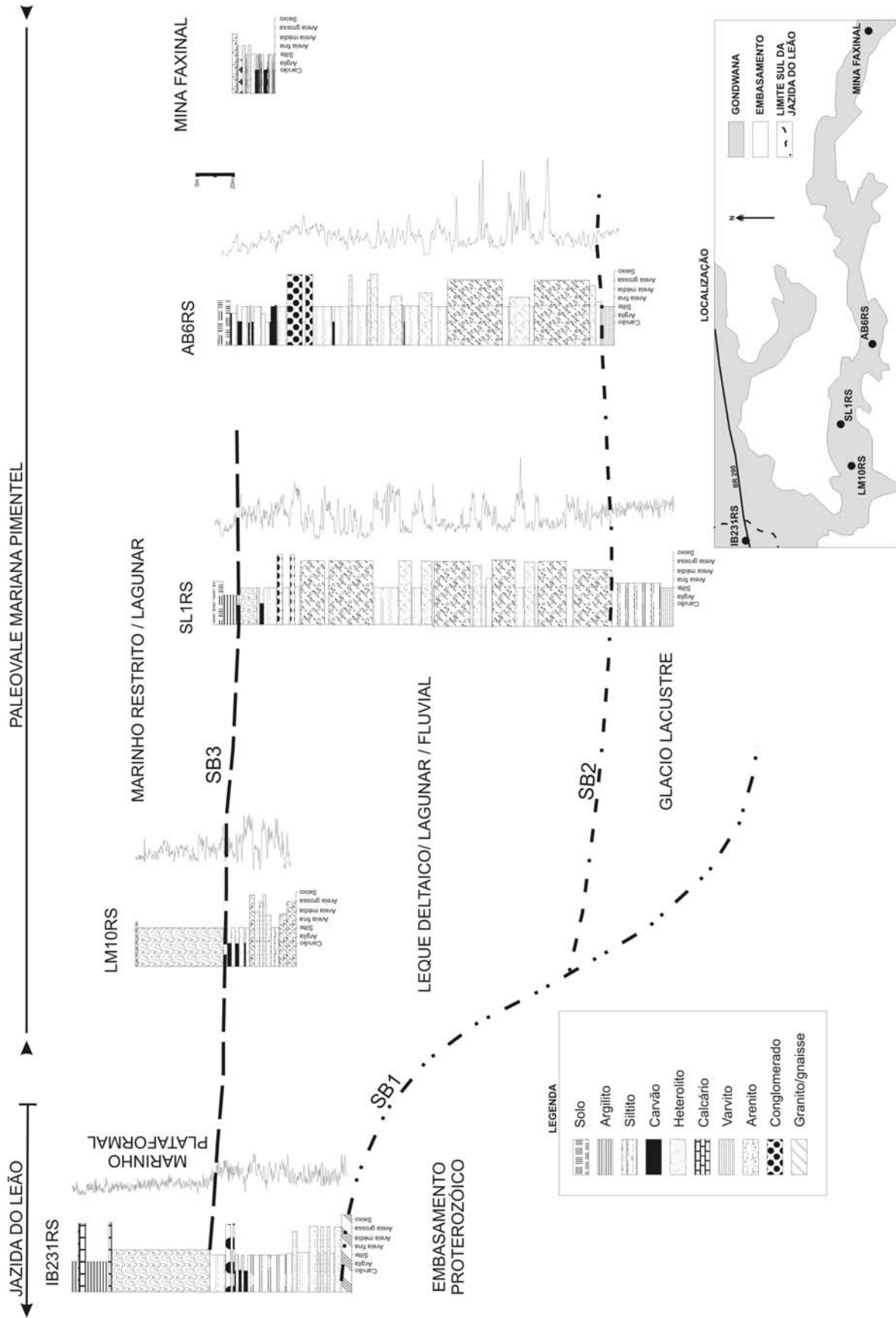


Figure 4:

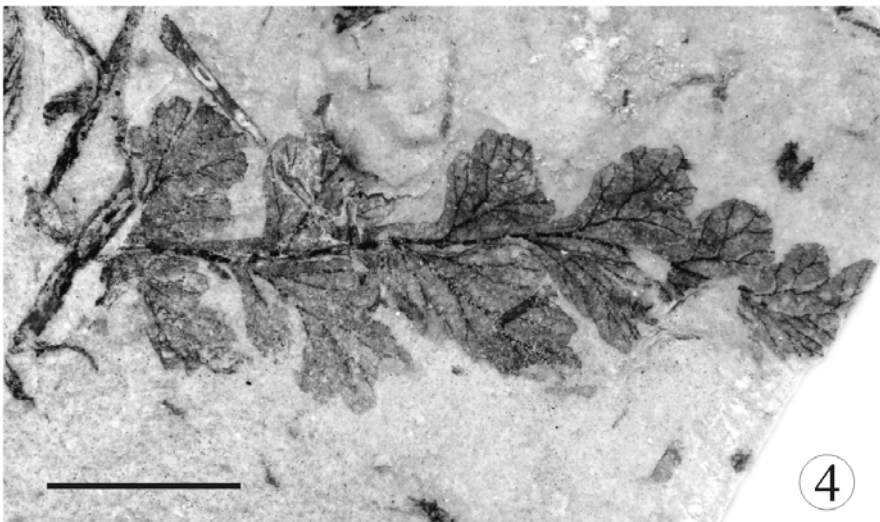
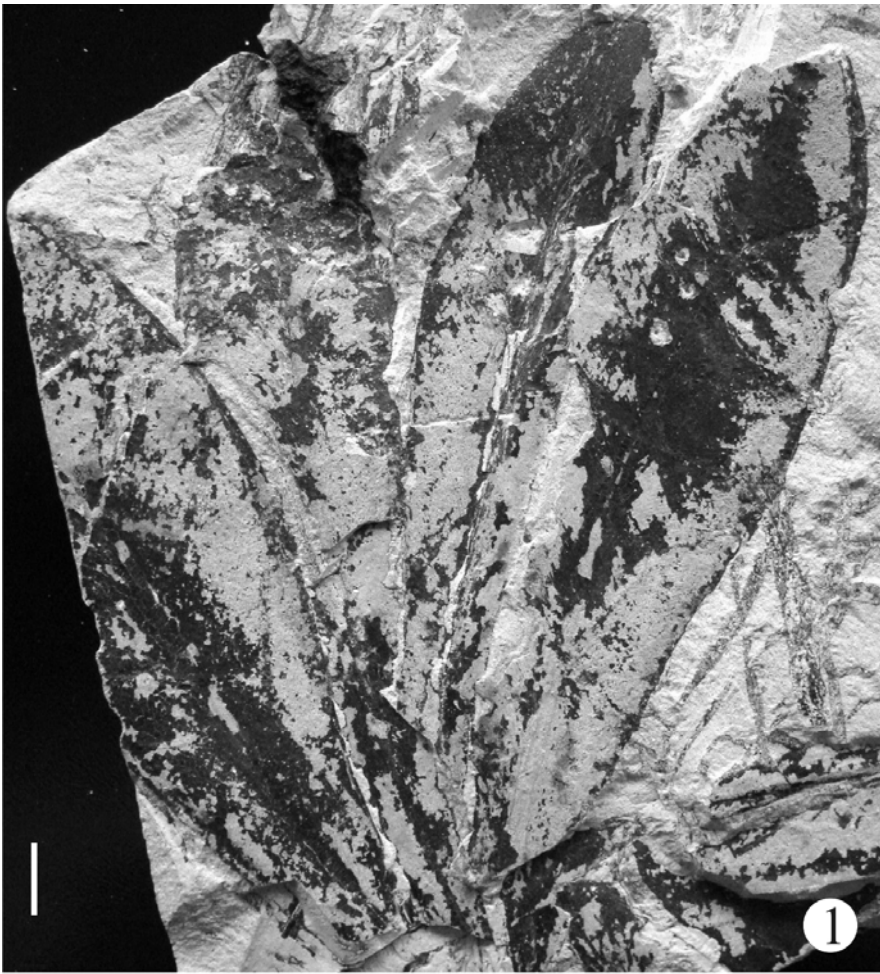


Figure 5:

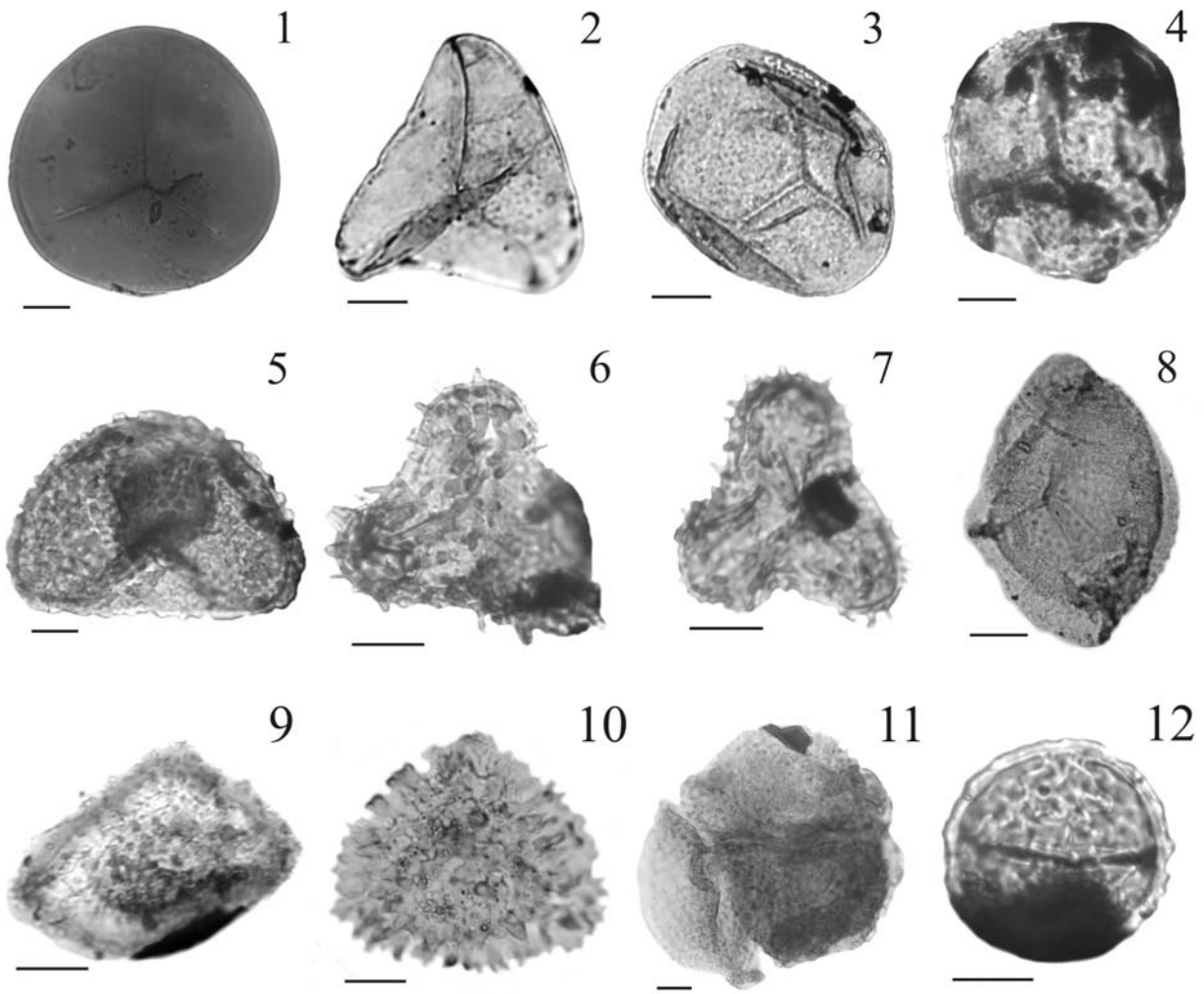


Figure 6:

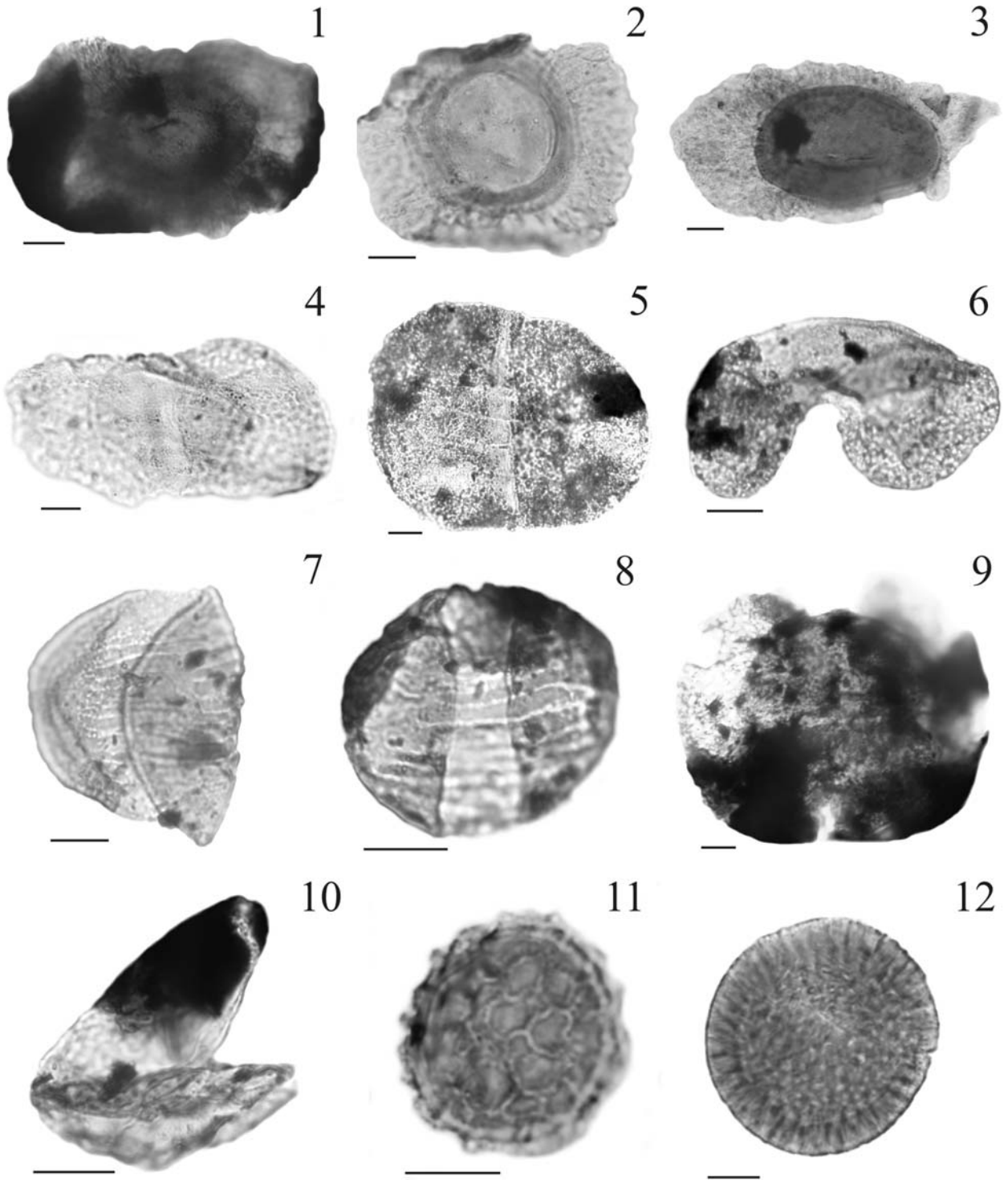


Figure 7:

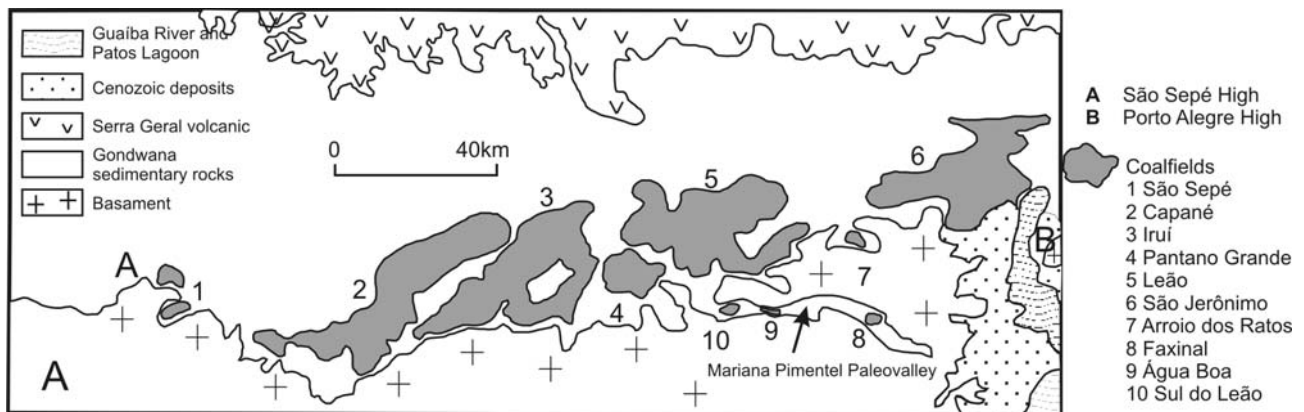


Table 1: List of plants taxa identified in the tonstein level at the Faxinal coalfield.

Sphenopteris cf. *S. ischanovens* Zalesky 1934

Glossopteris brasiliensis Guerra-Sommer 1992*

Glossopteris communis Feistmantel 1876

Glossopteris indica Schimper 1869

Glossopteris leptoneura Bunbury 1861

Glossopteris occidentalis White emend. Tybusch and Iannuzzi 2010

Glossopteris papillosa Guerra-Sommer 1992*

Glossopteris similis intermittens Guerra-Sommer 1992*

Glossopteris sp. 1

Glossopteris sp. 2

Glossopteris sp.

Rufloria gondwanensis Guerra Sommer 1989*

Cordaites sp.

Plumsteadia sennes Rigby 1963

Cordaicarpus sp.

*Species based on leaf epidermis analysis (Guerra-Sommer, 1989; 1992).

Table 2: List of the identified palynomorphs and their distribution along the studied section.

Palynological Assemblages	MF2	MF5	MF6	MF10	MF11
SPORES					
<i>Apiculiretusispora sparsa</i> Menendez and Azcuy 1971	X	X			
<i>Brevitriletes irregularis</i> (Nahuys, Alpern and Ybert) Césari, Archangelsky and Seoane 1995		X			
<i>Calamospora liquida</i> Kosanke 1950					X
<i>Calamospora plicata</i> (Luber and Valts) Hart 1965		X			X
<i>Calamospora sinuosa</i> Leschik 1955	X	X			X
<i>Calamospora</i> spp.	X	X	X	X	X
<i>Converrucosporites confluens</i> (Archangelsky and Gamarro) Playford and Dino 2002		X	X	X	X
<i>Cristatisporites</i> spp.		X			X
<i>Cyclogranisporites firmus</i> Jones and Truswell 1992	X		X		
<i>Cyclogranisporites gondwanensis</i> Bharadwaja and Salujha 1963	X	X	X	X	X
<i>Cyclogranisporites parvigranulosus</i> Ybert 1975	X	X	X	X	X
<i>Cyclogranisporites</i> spp.	X	X	X	X	X
<i>Granulatisporites austroamericanus</i> Archangelsky and Gamarro 1979	X	X	X	X	X
<i>Horriditriletes gondwanensis</i> (Tiwari and Moiz) Foster 1975			X		
<i>Horriditriletes ramosus</i> (Balme and Hennelly) Bharadwaj and Salujha 1964	X	X	X		
<i>Horriditriletes superbus</i> (Foster) Césari, Archangelsky and Seoane 1995	X	X	X		
<i>Horriditriletes uruguaiensis</i> (Marques-Toigo) Archangelsky and Gamarro 1979		X	X		
<i>Horriditriletes curvibaculosus</i> Bharadwaj and Salujha 1964		X			
<i>Horriditriletes</i> spp.	X	X	X		
<i>Kraeuselisporites</i> spp.					X
<i>Laevigatosporites vulgaris</i> Ibrahim 1933		X			
<i>Leiotriletes virkkii</i> Tiwari 1965	X	X	X	X	X
<i>Lophotriletes</i> spp.	X	X	X		
<i>Lundbladispora braziliensis</i> (Pant and Srivastava) Marques-Toigo and Picarelli 1984		X			X
<i>Lundbladispora riobonitensis</i> Marques-Toigo and Picarelli 1984					X
<i>Murospora bicingulata</i> Ybert 1975	X		X		
<i>Punctatisporites gretensis</i> Balme and Hennelly 1956	X	X	X	X	X
<i>Retusotriletes simplex</i> Naumova 1953	X		X	X	
<i>Tymospora criciumensis</i> Quadros, Marques-Toigo and Cazzulo-Klepzig 1995		X	X		
<i>Tymospora</i> spp.	X	X	X	X	X
<i>Vallatisporites</i> spp.		X			X
POLLEN GRAINS					
<i>Alisporites</i> spp.		X			
<i>Caheniasaccites flavatus</i> Bose and Kar 1966	X	X			X
<i>Caheniasaccites</i> sp.	X	X			
<i>Cannanoropollis janakii</i> Potonié and Sah 1960					X
<i>Fusacolpites ovatus</i> Bose and Kar 1966		X			
<i>Hamiapollenites</i> cf. <i>fusififormis</i> Marques-Toigo 1974	X				
<i>Illinites unicus</i> (Kosanke) Jansonius and Hills 1976	X	X			
<i>Limitisporites</i> spp.	X	X			
<i>Lueckisporites virkkiae</i> (Potonié and Klaus) Clarke 1965	X				
<i>Plicatipollenites densus</i> Srivastava 1970					X
<i>Potonieisporites densus</i> Maheshwari 1967					X
<i>Protohaploxypinus goraiensis</i> (Potonié and Lele) Hart 1964		X			X
<i>Protohaploxypinus limpidus</i> (Balme and Hennelly) Balme and Playford 1967		X			X
<i>Protohaploxypinus</i> spp.				X	X
<i>Scheuringipollenites minimus</i> (Burjack) Dias-Fabricao 1981	X			X	
<i>Scheuringipollenites medius</i> (Burjack) Dias-Fabricao 1981	X	X			
<i>Stellapollenites talchirensis</i> Lele 1965	X	X			
<i>Striatopodocarpites cancellatus</i> (Balme and Hennelly) Hart 1964					X
<i>Vesicaspora</i> spp.	X	X	X		X
<i>Vittatina subsaccata</i> Samoilovich 1953		X			
<i>Vittatina</i> sp.	X				X
Undetermined pollen grains	X	X			X
OTHERS (algae, fungi and incertae sedis)					
<i>Brazilea scissa</i> (Balme and Hennelly) Foster 1975	X	X			
<i>Maculatasporites gondwanensis</i> Tiwari 1964					X
<i>Maculatasporites minimus</i> Segroves 1967					X

Table 3: Determination of sporomorphs per stratigraphic level, according to the botanical affinity (RF; %).

Genera identified	MF2	MF5	MF6	MF10	MF11
LYCOPSIDA		3,56			51,34
<i>Cristatisporites</i>		2,37			4,75
<i>Krauselisporites</i>					2,67
<i>Lundbladispota</i>		0,30			37,98
<i>Vallatisporites</i>		0,89			5,93
SPHENOPSISIDA	1,47	1,48	0,31	6,81	1,48
<i>Calamospora</i>	1,47	1,19	0,31	6,81	1,48
<i>Laevigatosporites</i>		0,30%			
FILICOPSIDA	82,30	90,50	99,07	91,83	14,84
<i>Apiculiretusispora</i>	0,29	0,89			
<i>Brevitriletes</i>		0,30			
<i>Converrucosisporites</i>		0,89	0,93	1,09	0,30
<i>Convolutispora</i>	0,29	1,19	0,62	1,09	0,30
<i>Cyclogranisporites</i>	21,24	71,51	13,27	38,96	7,72
<i>Granulatisporites</i>	1,47	2,08	0,31	0,27	0,59
<i>Horriditriletes</i>	0,88	1,48	0,62		
<i>Leiotriletes</i>	0,29	0,30	0,93	0,54	1,48
<i>Lophotriletes</i>	0,29	2,37	2,16		
<i>Punctatisporites</i>	56,64	9,50	77,16	48,77	4,45
<i>Retusotriletes</i>	0,88		3,09	1,09	
AFFINITY UNKNOWN SPORE	0,29		0,31		
<i>Murospora</i>	0,29		0,31		
GLOSSOPTERIDALES	4,72	1,19	0,31	0,27	3,56
<i>Fusacolpites</i>		0,30			
<i>Protohaploxypinus</i>	1,77	0,30		0,27	0,89
<i>Striatopodocarpites</i>					0,30
<i>Vesicaspora</i>	2,65	0,30	0,31		1,78
<i>Vittatina</i>	0,29	0,30			0,59
CONIFERALES	1,18	0,89			1,48
<i>Alisporites</i>		0,30			
<i>Caheniasaccites</i>	0,59	0,30			0,89
<i>Limitisporites</i>	0,29	0,30			
<i>Lueckisporites</i>	0,29				
<i>Plicatipollenites</i>					0,30
<i>Potonieisporites</i>					0,30
AFFINITY UNKNOWN POLLEN	9,14	2,37		1,09	3,26
<i>Illinicus</i>	0,29	0,30			
<i>Scheuringipollenites</i>	2,65	0,59		0,27	
<i>Stellapollenites</i>	2,06	0,30			
Undetermined poliplicate	0,29	0,30		0,27	
Undetermined bissacate	3,83	0,89		0,54	3,26
ZYGNEMAPHYCEAE	0,88	0,30			24,04
<i>Brazilea</i>	0,88	0,30			
<i>Maculatasporites</i>					24,04

Capítulo 5

“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.

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 Iannuzzi¹
Claiton Marlon dos Santos Scherer¹
Paulo Alves de Souza¹
Michael Holz¹
Gerson Caravaca²
Karen Adami-Rodrigues³
Graciela Pereira Tybusch¹
Juliane Marques de Souza¹
Larissa P. Smaniotto¹
Tiago V. Fischer¹
Ariane Santos da Silveira⁴
Ricardo Lykawka¹
Daiana Rockenbach Boardman¹
Eduardo Guimarães Barboza¹

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

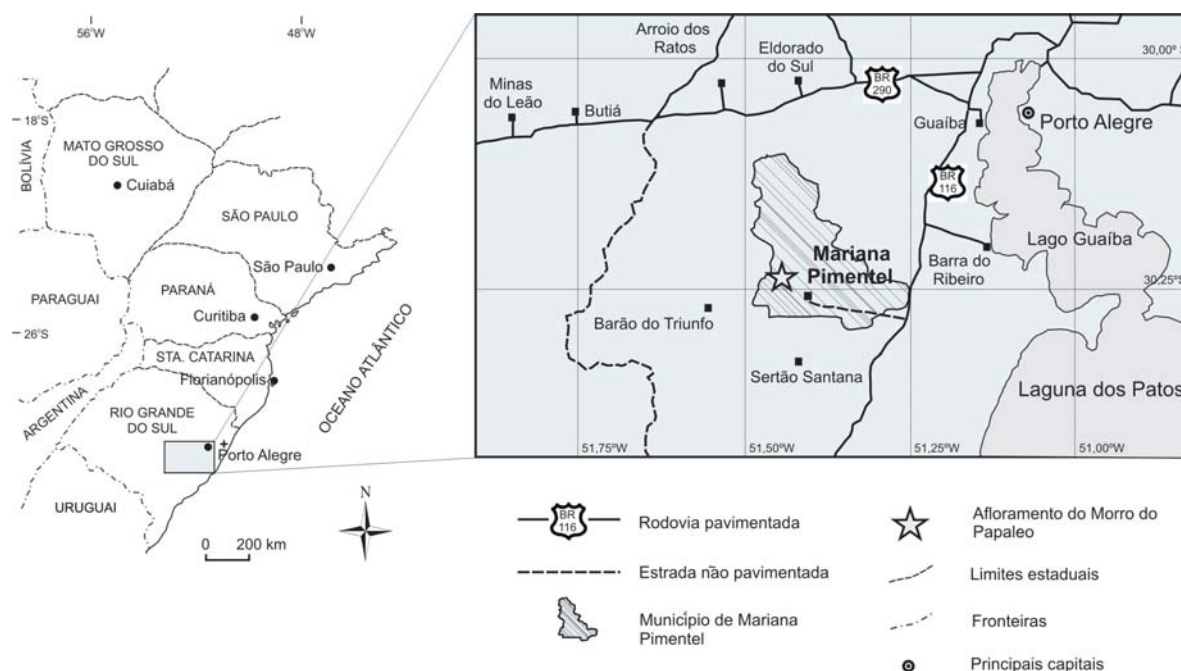


Figura 1 - Mapa de localização do Afloramento Morro do Papaléo, município de Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul.

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*, *Protohaploxypinus*, *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).

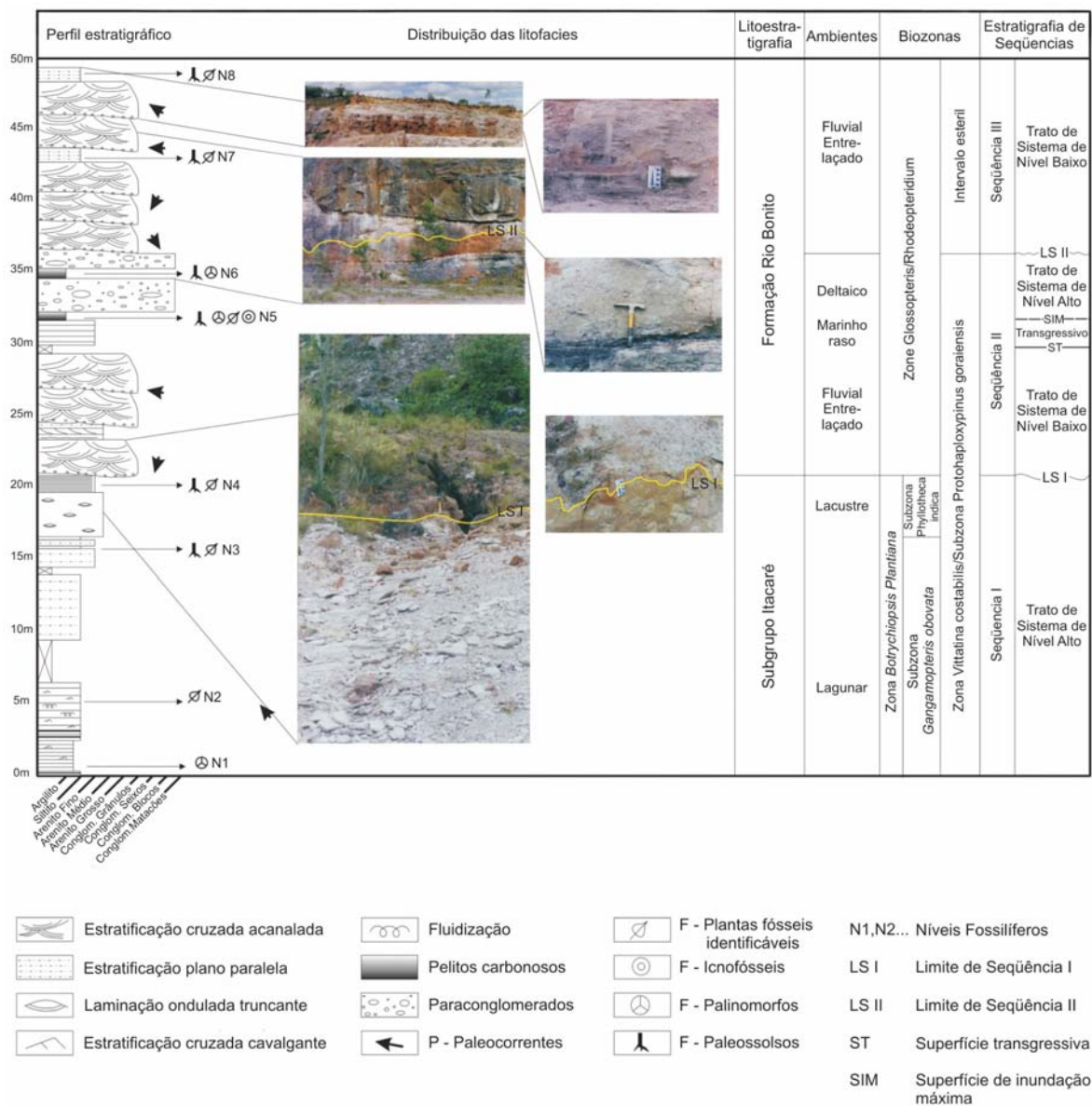


Figura 3 - Perfil estratigráfico ilustrado do afloramento Morro do Papaléo, detalhando os níveis fossilíferos, as principais fácies encontradas, as superfícies erosivas e a distribuição dos paleoambientes, das seqüências estratigráficas, das fitozonas e da única palinozona registrada. Baseado em Iannuzzi *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			
ESPOROS						
<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			
GRÃOS DE PÓLEN						
<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 limpidus</i>		x	x			
ALGAS						
<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			
FUNGOS						
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
PLANTAS					
<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).

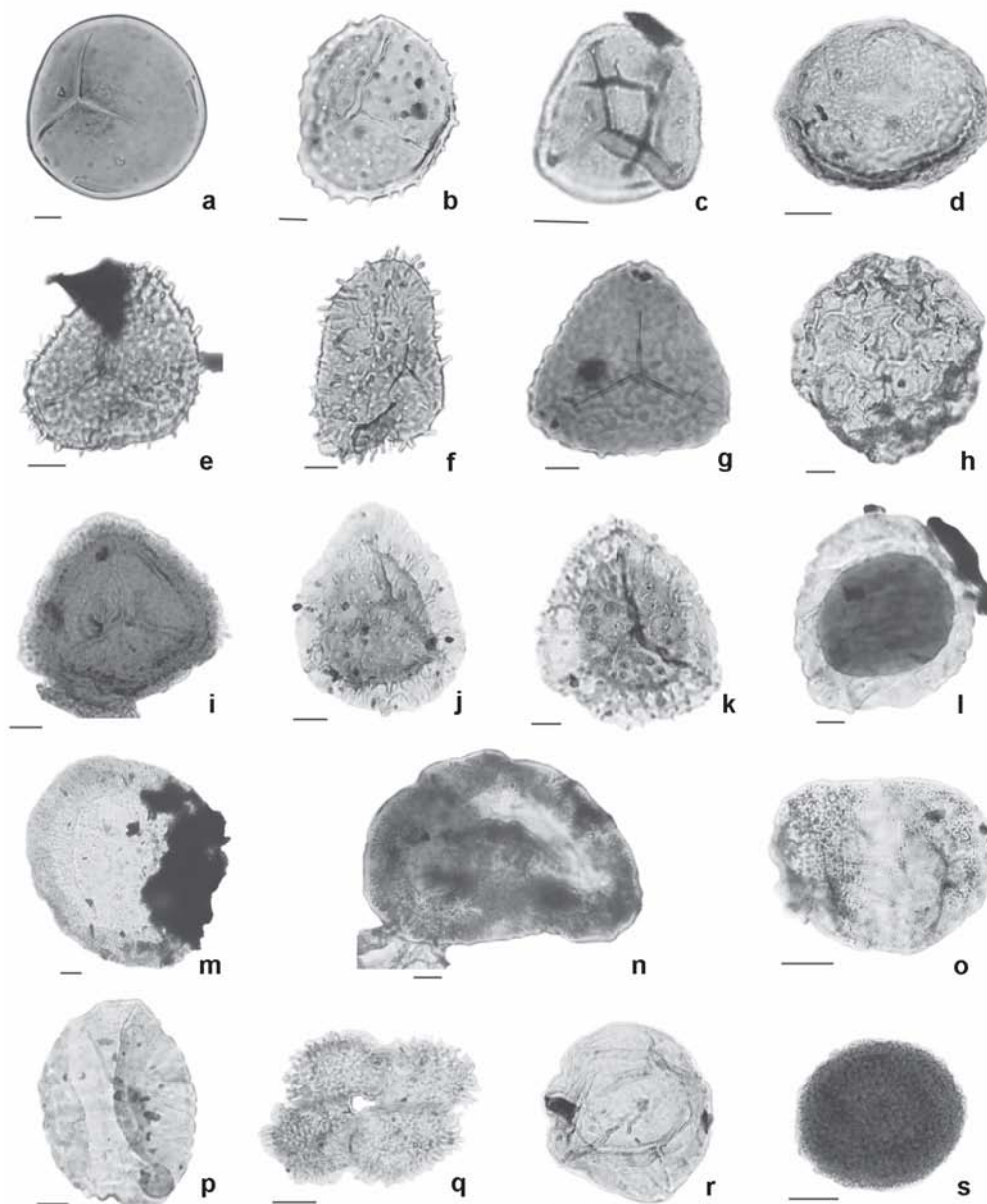


Figura 5 - Palinomorfos selecionados: **(a)** *Punctatisporites gretensis* (Lâmina MP-P 5068, Coordenada England Finder Y33-4); **(b)** *Brevitriletes levis* (MP-P 5061B, R43-2); **(c)** *Granulatisporites triconvexus* (MP-P 5061A, T52-3); **(d)** *Cyclogranisporites* sp. (MP-P 5061C, G44-2); **(e)** *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).

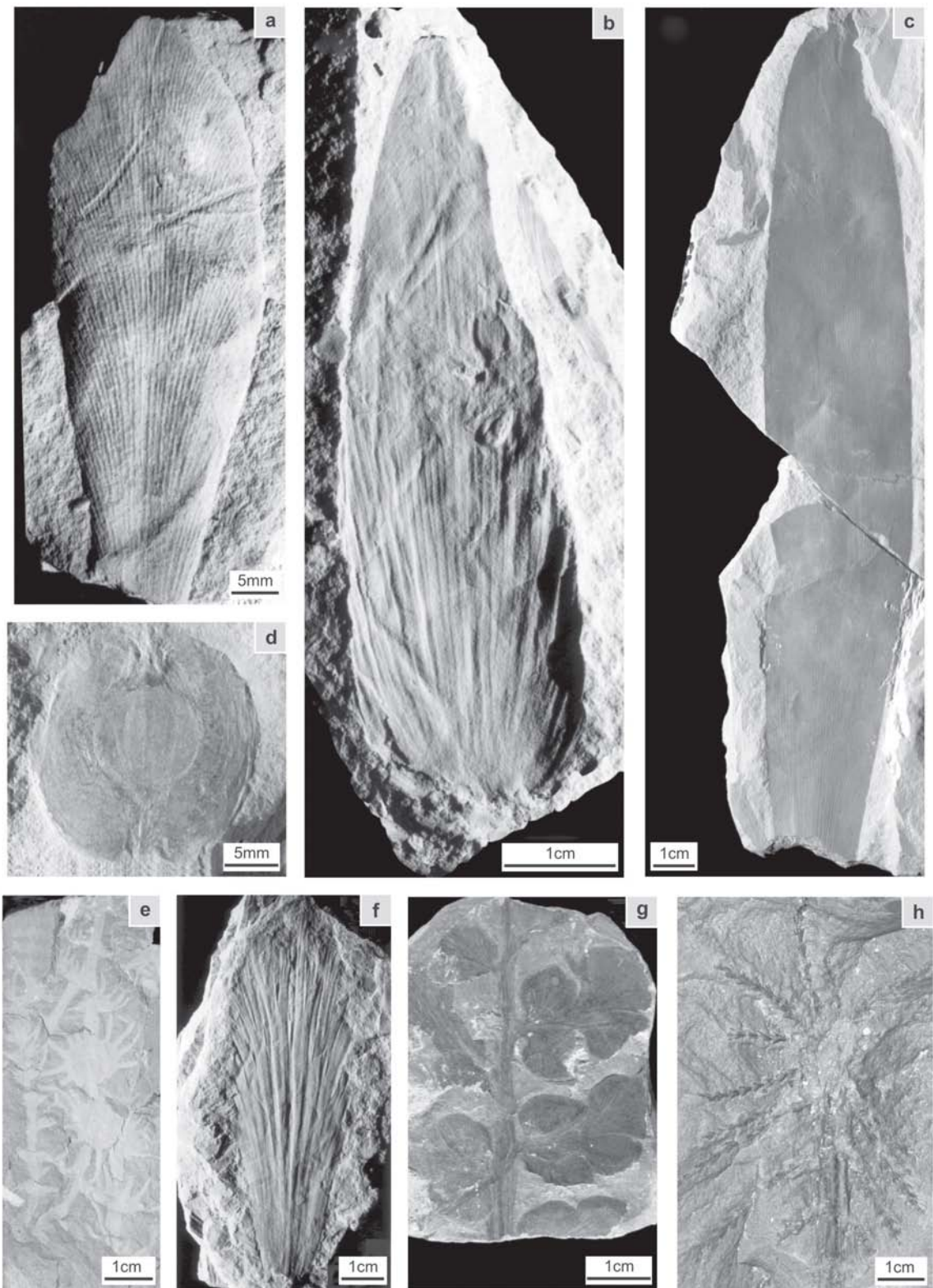


Figura 6 - Plantas fósseis coletadas no Subgrupo Itararé: **(a)** *Gangamopteris obovata* (MP-Pb 2002, level N4); **(b)** *Kawizophyllum* sp. (MP-Pb 3695, level N4); **(c)** *Cordaites hislopilii* (MP-Pb 3680, level N4); **(d)** *Samaropsis kurtzii* (MP-Pb 3010, level N4); **(e)** *Phyllothea australis* (= *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-

mas 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 *Brazilea*, *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-

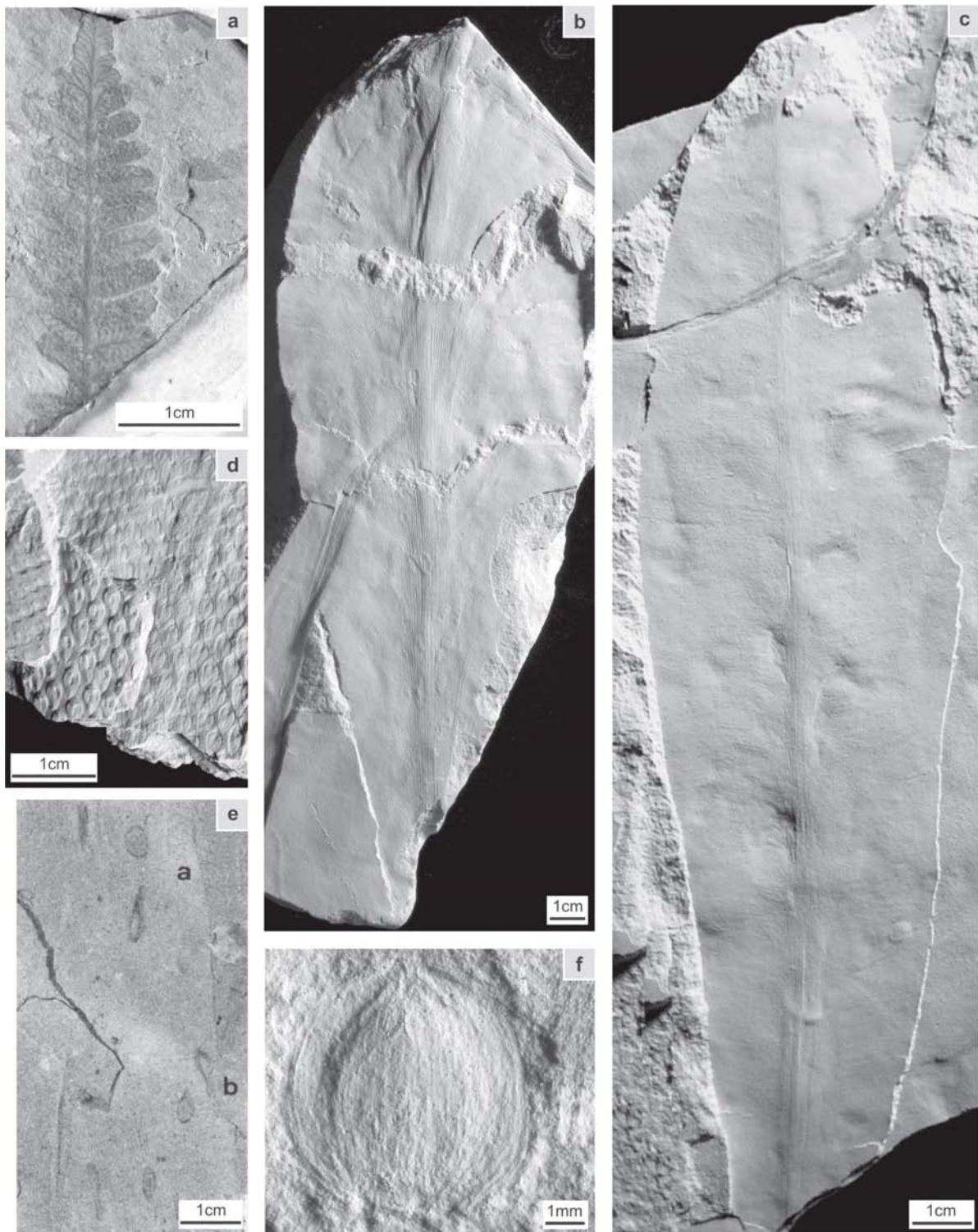


Figura 7 - Plantas fósseis coletadas na Formação Rio Bonito: **(a)** *Asterotheca* sp. (MP-Pb 3601, nível N8); **(b)** *Gangamopteris obovata* var. *major* (MP-Pb 3704, nível N8); **(c)** *Glossopteris occidentalis* (MP-Pb 3728A, nível N8); **(d)** *Brasilodendron pedroanum* (MP-Pb 4131, nível N8); **(e)** *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 (Sakmariano-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).

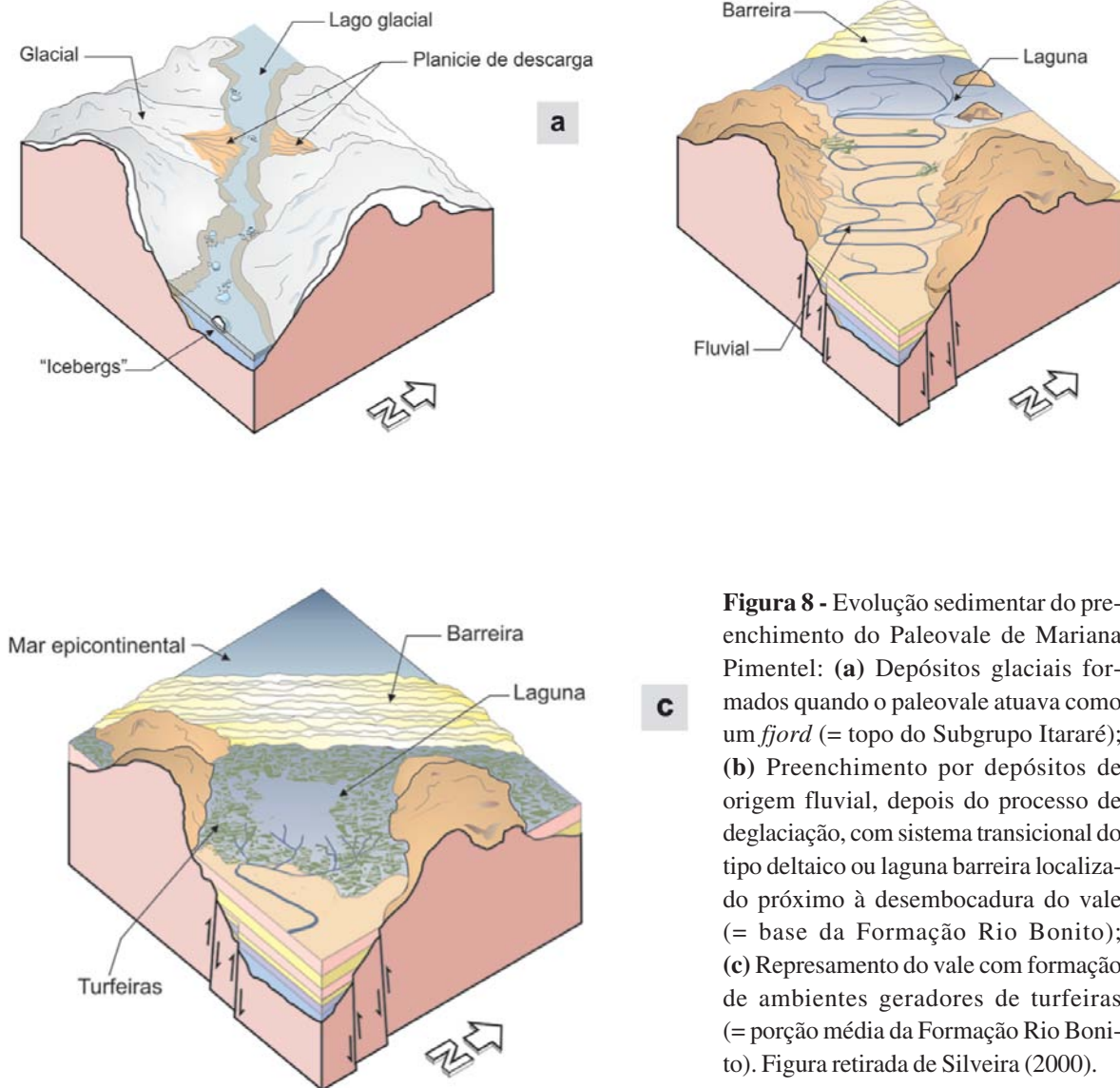


Figura 8 - Evolução sedimentar do preenchimento do Paleovale de Mariana Pimentel: **(a)** Depósitos glaciais formados quando o paleovale atuava como um *fjord* (= topo do Subgrupo Itararé); **(b)** Preenchimento por depósitos de origem fluvial, depois do processo de deglaciação, com sistema transicional 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-Fabricsio, 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. *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-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.

¹ 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

² PETROBRAS – UM-BC/ATEX/SE – Brasil.

³ Centro de Ciências biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Campus Floresta –

R. Paraná, 860 – Cruzeiro do Sul – AC – 69.980-000 – Brasil.

⁴ 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.

PARTE III

Anexos

Resumos em eventos e cartas de submissão

Anexo A

“Fitoestratigrafia do Paleozóico da Bacia do Paraná: contexto atual”

Boardman, D.R & Iannuzzi, R. 12º Simpósio de Paleobotânicos e
Palinólogos, 12, Boletim de resumos, pg. 26. 2008.

FITOSTRATIGRAFIA DO PALEOZÓICO DA BACIA DO PARANÁ: CONTEXTO ATUAL¹

Daiana Rockenbach BOARDMAN² & Roberto IANNUZZI³

Os depósitos do Carbonífero Superior e Permiano da Bacia do Paraná contêm grande diversidade e abundância de fósseis. Os fósseis vegetais, micro e macro, ocorrem ao longo de toda a seqüência sendo de grande valia no estudo estratigráfico deste intervalo em toda a bacia. Estudos estratigráficos, baseados em microfósseis vegetais, vêm sendo realizados em sedimentos da Bacia do Paraná desde a década de 1970. Esses microfósseis estão presentes em quase todas as unidades do Paleozóico Superior, porém, muitas vezes, são restritos a determinados horizontes. Um exemplo disto são os níveis associados aos depósitos de carvão, do Grupo Itararé e da Formação Rio Bonito, que apresentam grande diversidade e abundância de microfósseis vegetais e no qual concentrou a maioria dos trabalhos fitostratigráficos. Tomando-se como base os parâmetros e diretrizes indicadas pelo Código Estratigráfico Internacional e pelo Guia Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica, no estabelecimento de biozonas e zoneamentos estratigráficos, pode-se visualizar o atual contexto da fitostratigrafia do Paleozóico da Bacia do Paraná. Para isto, abordaram-se, principalmente, os seguintes critérios: formalização dos zoneamentos, amplitude geográfica e taflofloras descritas, correlação com os trabalhos anteriores e bacias adjacentes e, correlação com outras ferramentas estratigráficas. Foram identificados oito trabalhos fitostratigráficos para o Paleozóico da Bacia, sendo que apenas três deles puderam ser considerados propostas bioestratigráficas formais. Devido à baixa quantidade de propostas formais e o fato destas serem continuamente citadas em trabalhos sobre a geologia da Bacia, optou-se por analisar o conjunto das contribuições. As propostas, no geral, apresentam uma abordagem regional, se concentrando, em grande parte, nas porções mais ao sul ou mais ao norte da Bacia. Em poucos casos, uma abordagem mais geral da Bacia é apresentada. Em sua maioria, os trabalhos correlacionam com as propostas anteriores para Bacia e, em alguns casos, esta correlação aborda também outras bacias gonduânicas, e apenas os trabalhos mais recentes correlacionaram os zoneamentos com outras ferramentas estratigráficas. As propostas fitostratigráficas existentes para a Bacia se mostraram, em sua maioria, superficiais e incompletas. Isto ocorre, muitas vezes, pelo fato dos autores não terem seguido os parâmetros e as diretrizes citadas nos códigos estratigráficos ou mesmo devido à limitação dos dados disponíveis e/ou as restrições da fitostratigrafia em si. Outros fatos poderiam, também, justificar as deficiências encontradas, são eles: a) a deficiência de trabalhos taxonômicos; seja pela falta deles ou devido à ausência de identificações específicas das formas erigidas para caracterizar as unidades bioestratigráficas, ou até mesmo a desatualização sistemática; b) falta de prospecção de microfósseis vegetais em determinadas regiões da bacia; c) a falta de um controle estratigráfico mais preciso das taflofloras ou dos elementos característicos das unidades bioestratigráficas; d) o estabelecimento de correlações restritas, com o uso de duas ou apenas uma localidade para caracterizar as unidades bioestratigráficas; e) o não uso de outras ferramentas em conjuntos, como a Palinoestratigrafia e a Estratigrafia de Seqüência, que poderiam auxiliar nas correlações entre as taflofloras, em amplitude geográfica e estratigráfica local ou regional.

¹ Realizado sob os auspícios do CNPq (Processo 483463/2007-8; Processo 140631-2006/2).

² Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. Bolsista CNPq - doutorado (daiana.boardman@gmail.com).

³ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil (roberto.iannuzzi@ufrgs.br).

Anexo B

“Novas ocorrências de *Botrychiopsis plantiana* (Carr.) Arch. & Arrondo no Afloramento Quitéria, Permiano Inferior, Rio Grande do Sul: implicações bioestratigráficas”

Iannuzzi, R. & Boardman, D.R. 12º Simpósio de Paleobotânicos e Palinólogos, 12, Boletim de resumos, pg. 95. 2008.

NOVAS OCORRÊNCIAS DE *Botrychiopsis plantiana* (CARR.) ARCH. & ARRONDO NO AFLORAMENTO QUITÉRIA, PERMIANO INFERIOR, RIO GRANDE DO SUL: IMPLICAÇÕES BIOESTRATIGRÁFICAS¹

Roberto IANNUZZI² & Daiana Rockenback BOARDMAN³

O Afloramento Quitéria, situado no município de Arroio dos Ratos, é um dos mais ricos afloramentos em megafósseis vegetais do Estado do Rio Grande do Sul, registrando a ocorrência de restos de raízes, caules, folhas, estruturas reprodutivas, sementes e palinórfos associados à “Flora *Glossopteris*” e datados como de idade eopermiana (Sakmariano tardio – Artinskiano precoce). Neste sentido, os megafósseis vegetais deste afloramento têm sido alvo de intensos estudos taxonômicos, paleoecológicos bem como bioestratigráficos. Estes últimos conduziram a proposição de uma nova fitozona, Zona *Botrychiopsis*, composta de duas subzonas, denominadas, da inferior para a superior, de Subzona *Botrychiopsis plantiana* e Subzona *Botrychiopsis valida*. Por definição, esta última subzona foi caracterizada pela presença da espécie-guia *B. valida* (Feistmantel) Archangelsky & Arrondo e ausência da espécie *B. plantiana* (Carruthers) Archangelsky & Arrondo que denomina e diagnostica a subzona subjacente. Além destas duas espécies, a Subzona *B. plantiana* se diferenciaria pela presença de coníferas do gênero *Buriadia* e folhas de ginkgoaleans do tipo *Ginkgoites*, enquanto que a Subzona *B. valida* pela ocorrência de licófitas atribuíveis ao gênero *Brasilodendron* e fetos relacionados aos gêneros *Pecopteris* e *Sphenopteris*, além de *Cheirophyllum* e coníferas indeterminadas (= *Coricladus quiteriensis* Jasper, Ricardi-Branco, Guerra-Sommer). No entanto, recentes coletas neste mesmo afloramento e o exame detalhado de coleções existentes no Departamento de Paleontologia (DPE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e do Laboratório da Vida e da Terra (LaViGea) da Universidade Vale dos Sinos (UNISINOS), demonstraram a ocorrência, pela primeira vez, de *B. plantiana* nos mesmos níveis onde foram coletados os espécimes classificados em *B. valida*. Em consequência destes novos achados e das recentes reavaliações dos fitozoneamentos já publicados para o Rio Grande do Sul, é feita uma re-análise dos critérios utilizados no estabelecimento do zoneamento proposto com base no conteúdo megaflorístico do Afloramento Quitéria, considerando-se assim a sua validade como originalmente estabelecido.

¹ Realizado sob os auspícios do CNPq (Processo 483463/2007-8; Processo 140631-2006/2).

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Porto Alegre, RS, Brasil (roberto.iannuzzi@ufrgs.br).

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós Graduação em Geologia, Brasil (daiana.boardman@gmail.com).

Anexo C

Carta de submissão do manuscrito

“Paleobotanical and palynological analysis from Quitéria Outcrop (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande do Sul, Brazil: taxonomy, biostratigraphy, and paleoecological implications”. Boardman, D.R., Souza, P.A., Iannuzzi, R. & Mori, A.L.O. *Ameghiniana*, submetido.



Daiana boardman <daiana.boardman@gmail.com>

[AMGHB2] Envío recibido

Comite Editor <comiteeditor@ameghiniana.org.ar>**5 de outubro de 2010 15:32**

Para: Daiana Rockenbach Boardman <daiana.boardman@gmail.com>

Daiana Rockenbach Boardman:

Gracias por enviarnos su manuscrito "Biostratigraphy and Paleoecology (Paleobotany and Palynology) from Quitéria Outcrop (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Encruzilhada do Sul, RS, Brasil" a Ameghiniana. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<http://www.ameghiniana.org.ar/index.php/ameghiniana/author/submission/424>

Nombre de usuario/o: boardmandr

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Comite Editor
Ameghiniana

Ameghiniana<http://www.ameghiniana.org.ar/index.php/ameghiniana>

Anexo D

Carta de submissão do manuscrito

“Paleobotanical and palynological analysis of Faxinal Coalfield (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande do Sul, Brazil: taxonomy, biostratigraphy and paleoecological implications”. Boardman, D.R., Iannuzzi, R., Souza, P.A. & Lopes, R.C. *International Journal of Coal Geology*, submetido.



Daiana boardman <daiana.boardman@gmail.com>

Submission Confirmation

International Journal of Coal Geology <esubmissionsupport@elsevier.com>

15 de junho de 2011

16:19

Para: daiana.boardman@gmail.com

Dear Daiana,

Your submission entitled "PALEOBOTANICAL AND PALYNOLOGICAL ANALYSIS OF FAXINAL COALFIELD (LOWER PERMIAN, RIO BONITO FORMATION, PARANÁ BASIN), RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL: TAXONOMY, BIOSTRATIGRAPHY AND PALEOECOLOGICAL IMPLICATIONS" has been received by International Journal of Coal Geology

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <http://ees.elsevier.com/cogel/>.

Your username is: boardmandr

If you need to retrieve password details, please go to: http://ees.elsevier.com/cogel/automail_query.asp

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
International Journal of Coal Geology

For further assistance, please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.
