

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

**BIOESTRATIGRAFIA E PALEOECOLOGIA DE DEPÓSITOS
NEÓGENOS E PLEISTOCENOS AFLORANTES NA PORÇÃO
CENTRAL E OCIDENTAL DA BACIA DO SOLIMÕES,
ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL**

ROSEMERY ROCHA DA SILVEIRA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

Porto Alegre - 2015

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

**BIOESTRATIGRAFIA E PALEOECOLOGIA DE DEPÓSITOS
NEÓGENOS E PLEISTOCENOS AFLORANTES NA PORÇÃO
CENTRAL E OCIDENTAL DA BACIA DO SOLIMÕES,
ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL**

ROSEMERY ROCHA DA SILVEIRA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Maria Judite Garcia

Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira
Universidade Federal do Pará

Tese de Doutorado apresentada como requisito
parcial para obtenção do título de Doutor em
Geociências.

Porto Alegre – 2015

Ficha catalográfica

DEDICATÓRIA

Dedico essa Tese a minha família, meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da UFRGS, pela oportunidade e infraestrutura necessária ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de Doutorado, bem como FAPEAM, por custear atividades de campo na porção ocidental da Amazônia, por meio do projeto PIPT/FAPEAM 2009.

A meu orientador, Dr. Paulo Alves de Souza, por acreditar nesse projeto, sua amizade, apoio e questionamentos, que me estimularam na inserção de novos conhecimentos.

Aos meus amigos do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, do Instituto de Geociências da UFRGS, que sempre me apoiaram nesta jornada. A ajuda de Renato Backes Macedo e Rodrigo Cancelli com o Tilia Graph, bem como discussões sobre ecologia de plantas atuais. A Eduardo Premaor por sua ajuda no reconhecimento de dinoflagelado. Em particular, ao grande amigo Wagner Guimarães da Silva, por sua ajuda em todas as horas, desde troca de bibliografias e inúmeras sugestões e questionamentos. A Omaira Arango, Tiago Fischer, Priscila Schneider, Carla Webber, Lidia Kuhn, Ivan Menezes, Cristina Félix, Daiana Boardman, Fernando Michels, Jonatas Avelino. A todos obrigada pelos momentos de descontração compartilhados.

A meus amigos que mesmo distante apoiaram essa empreitada, particularmente à querida amiga Lilian Leandro, pela ajuda com bibliografias, e seu apoio incondicional.

A todos os meus irmãos pelo carinho e apoio emocional, principalmente a Agenor Junior por sua ajuda em momentos difíceis, por seu auxílio nas tarefas do dia-a-dia, e por tornarem meus dias mais divertidos.

A meu pai por ter me ensinado a ler e a minha mãe por estar presente em todos os momentos, por seu amor e por acreditar em mim.

Finalmente a Fabio Fernandes por acreditar nos meus sonhos, e fazer tudo que esteve a seu alcance para realizá-lo. Obrigada pela sua ajuda, suas sugestões, paciência e seu amor. Você faz a diferença.

RESUMO

As 93 amostras palinológicas obtidas deste estudo são oriundas de 12 afloramentos relacionados às formações Solimões e Içá, na região de Coari (5 afloramentos) e Alto Solimões (7 afloramentos), Bacia do Solimões, no estado do Amazonas. Este trabalho apresenta os palinomorfos reconhecidos nestes depósitos (incluindo descrições quando necessárias), com registro fotomicrográfico, relativos a 11 taxons de esporos de fungos, 7 algas, 1 escolocodonte, 1 cisto de dinoflagelado, 31 esporos de pteridófitas, 2 grãos de pólen de gimnospermas e 48 grãos de pólenes de angiospermas. Perfis compostos foram construídos para os depósitos aflorantes das regiões de Alto Solimões e Coari, com interpretação estratigráfica. A composição da palinoflora em ambas as áreas apresenta contrastes, sendo aquela de Alto Solimões a de menor diversidade, mas com maior abundância, em comparação com a de Coari. Na região do Alto Solimões há documentação de formas como *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Foveotriletes ornatos*, *Magnastriatites grandiosus* e a ocorrência de um cisto de dinoflagelado, que confirma influência marinha local para a Formação Solimões. Na região de Coari foi verificado predomínio de esporomorfos, evidenciando contexto continental para as formações Solimões e Içá. Palinofósseis guias de zoneamentos palinológicos foram reconhecidos para a região do Alto Solimões, tais como *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Grimsdalea magnaclavata*, *Multimarginites vanderhammeni*, *Diphyes latiusculus*, entre outros. A associação dessas formas permitiu posicionar os depósitos da Formação Solimões na região de Tabatinga e Atalaia do Norte entre o Serravaliano e o Tortoniano (Mioceno Médio/ Superior), com correspondência com a Zona *Grimsdalea*, pré-estabelecida para intervalo coevo da unidade. Para Coari as amostras foram posicionadas no Neomioceno/Plioceno, a partir do reconhecimento da Subzona de Intervalo de *Fenestrites longispinus*, ainda que na área este apresente baixa frequência. Ainda na região de Coari são identificados depósitos mais jovens, a partir da presença de *Alnipollenites verus*, que indica idade Pleistocena.

Palavras-chave: Bioestratigrafia, Paleoecologia, Neógeno, Amazonas

ABSTRACT

The 93 pollen samples obtained in this study were the result of research 12 outcrops related to Solimões and Içá formations in the region of Coari (5 outcrops) and Alto Solimões (7 outcrops) in the state of Amazonas. This paper presents the recognized palynomorphs (including descriptions when necessary) and photomicrographs of 11 fungal spores, 7 algae, 1 escolecodont, 1 dinoflagellate cyst, 31 fern spores and 48 pollen grains of angiosperms.

The composition of palinoflora in both areas shows contrasts with that of the Alto Solimões less diverse, but more abundantly in comparison with the Coari. In the Alto Solimões is no documentation of ways *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Foveotriletes ornamentos*, *Magnastriatites grandiosus* and the occurrence of a dinoflagellate cyst, confirming local marine influence to the Solimões Formation. In Coari region was verified predominance of esporomorphs, showing the continental context for the Solimões and Içá formations. Guides species of zonal schemes previously proposed were recognized for the Alto Solimões, such as *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Grimsdalea magnaclavata*, *Multimarginites vanderhammeni*, *Diphyes latiusculus*, among others. The association of these forms allowed positioning of the deposits of the Solimões Formation in the region of Tabatinga and Atalaia do Norte on the edge of Serravaliano-Tortonian intervals (Miocene Middle and Upper), with correspondence with the *Grimsdalea* Zone, preset to coeval range of the unit. To Coari samples were placed in Neomioceno / Pliocene, from the recognition Interval Subdivision of *Fenestrites longispinusus*, although in this area has a low frequency. Still in the region Coari younger deposits are identified from the presence of *Alnipollenites verus*, which indicates age Pleistocene.

Key-words: Biostratigraph, paleoecology, Neogene, Amazonas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de localização e limites das bacias paleozoicas amazônicas (modificado de Barroso, 2002).....	05
Figura 1.2. Carta estratigráfica da Bacia do Solimões (modificado de Eiras <i>et al.</i> , 1994).....	09
Figura 1.3. Localização da área estudada e número de amostras coletados na área. A e C) Mapa geológico e localização da área estudada e amostragem (pontilhado em C corresponde a limite impreciso do Arco de Purus); B) coordenadas dos afloramentos e número de amostras coletadas na Sub-bacia do Juruá, Bacia do Solimões (modificado de Nogueira <i>et al.</i> , 2013).....	10
Figura 1.4. Localização e número de amostras coletadas na área. A) Mapas geológico e C) de localização dos pontos de coleta na Sub-bacia do Jandiutuba, Bacia do Solimões; B) coordenadas dos afloramentos e número de amostras.....	11
Figura 2.1. Exemplos, selecionados da literatura, mostrando a evolução da terminologia empregada para o intervalo Neógeno, com progressivo aumento da base do Quaternário (Q, Qua, Quat). Outras abreviações: Diluviano (Di), Siciliano (Sic), Astiano (Ast), Pontiano (Pon), Tyrhemiano (Tyr), Saheliano (Sah), Calabriano (Cal), Piacenziano (Pia), Gelasiano (Ge), Zancleano (Zan), Messianiano (Mes), Médio (Mid), Superior (Up).....	20
Figura 2.2. Mapa de localização das bacias riftes e marginais mesocenoicas da Amazônia (Soares Junior <i>et al.</i> , 2008).....	25
Figura 2.3. Alguns dos fósseis encontrados na Formação Pirabas. 1. <i>Discotrochus</i> sp., 2. <i>Mucrospirifer</i> cf. <i>pedroanus</i> , 3. <i>Arca</i> (<i>Scapharca</i>) <i>inaequilateralis</i> (Guppy, 1866), 4. <i>Clamys</i> (<i>Argopecten</i>) <i>capanemensis</i> (Ferreira, 1960), 5. <i>Conus restitutus</i> (White, 1887), 6. <i>Conus pirabensis</i> (Maury, 1925); 7. <i>Aturia ackermanni</i> (Oliveira, 1958); 8. Gen et esp. Ind. 9. <i>Cassidulus</i> sp. (Brito, 1981); 10. <i>Megabalanus tintinnabulum</i> (Buerlen, 1958); 11. <i>Scylla costata</i> (Rathbun, 1919); 12. Gen. Et esp. Ind., 13. <i>Elasmobranchii incertae sedis</i> , 14. <i>Carcarodon</i> sp., 15 e 16. Folhas fósseis proveniente do município de Capanema, PA.....	28
Figura 2.4. Cartas estratigráficas das bacias do Solimões e Amazonas, com inserção da Formação Novo Remanso (NR) na Bacia do Amazonas (modificado, respectivamente, de Wanderley-Filho <i>et al.</i> , 2007; e Cunha <i>et al.</i> , 2007).....	33
Figura 2.5. Alguns dos fósseis encontrados na Formação Solimões. 1 e 2. Sementes e vestígio de folhas provenientes do rio Envira, AC, 3. Tronco fóssil coletado no rio Solimões, Tabatinga, AM; 4. Gastrópodes e bivalves em afloramento às margens do rio Javari, Atalaia do Norte, AM; 5. Dente de <i>Carcharodon megalodon</i> (Agassiz, 1835), Rio Juruá, AM. 6. Apêndices de crustáceos (garras de quelípedo), AC; 7. <i>Cytheridella purperae</i> (Ramos, 2006), Torre da Lua, margem do rio Tarauacá, Eirunepé, AM; 8 e 9 Vértebra de organismo indeterminado e placa dérmica de quelônio coletadas às	

margens do rio Javari, Atalaia do Norte; 10. Icnofóssil em fácies arenosas da Formação Solimões, Atalaia do Norte.....	34
Figura 2.6. Correlação dos zoneamentos propostos para a Amazônia e outras áreas da América do Sul (modificado de Jaramillo <i>et al.</i> , 2010).....	43
Figura 2.7. Mapas paleogeográficos da Amazônia mostrando os principais aspectos fisiográficos ao longo do Neógeno (modificado de Hoorn <i>et al.</i> , 2010a).....	45
Figura 2.8. Mapa de localização dos levantamentos palinológicos desenvolvidos nas bacias intracratônicas e rifte da região norte brasileira (modificado de Milani <i>et al.</i> , 2007).....	47
Figura 4.1. (A) Vista geral do corte de estrada ao longo da rodovia BR-307, na qual é possível visualizar duas associações de fácies para a Formação Solimões; (B) arenito fino esbranquiçado em laminação cruzada cavalgante, tendo em sua base contato com nível ferruginoso ondulado (fe); (C) detalhe das fácies sedimentares, com pelitos subordinados (<i>Fm</i>).....	170
Figura 4.2. (A) Fácies finas e associação de conchas de bivalves e gastrópodes; (B) pelitos alternados a filmes de matéria orgânica (<i>Fl</i>), (C) arenitos maciços tabulares localizados; (D) icnofóssil subvertical na base da camada de arenito maciço, em contato com fácies finas (<i>Fsm</i>) da planície de inundação.....	171
Figura 4.3. Perfis estratigráficos adquiridos para a região de Atalaia do Norte a Tabatinga, porção ocidental da Amazônia brasileira.....	172
Figura 4.4. Bloco diagrama mostrando o paleoambiente da Formação Solimões na região de Atalaia do Norte e Tabatinga e a composição geral da paleoflora.....	179
Figura 4.5. Diagrama polínico do afloramento P1, corte de estrada na BR-307, estrada Atalaia do Norte e Benjamin Constant, região do Alto Solimões, Amazonas.....	180
Figura 4.6. Diagrama polínico do afloramento P2, margem direita do rio Javari, município de Atalaia do Norte, região do Alto Solimões, Amazonas.....	181
Figura 4.7. Diagrama polínico do afloramento P4, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas.....	182
Figura 4.8. Diagrama polínico do afloramento P5, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas.....	183
Figura 4.9. Diagrama polínico do afloramento P6, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas.....	184
Figura 4.10. Diagrama polínico do afloramento P7, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas.....	185
Figura 4.11. Diagrama polínico do afloramento P8, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas.....	186
Figura 4.12 Perfis estratigráficos adquiridos para a região de Coari, Sub-bacia do Juruá, Bacia do Solimões (modificado de Nogueira <i>et al.</i> , 2013).....	190

Figura 4.13. Blocos diagramas mostrando a evolução paleoambiental da região de Coari e a composição geral da paleoflora (modificado de Nogueira <i>et al.</i> , 2013).....	198
Figura 4.14. Diagrama polínico do afloramento P2, margem direita do rio Solimões, adjacência do Município de Coari, Amazonas.....	199
Figura 4.15. Diagrama polínico do afloramento P9, margem direita do rio Solimões, adjacência do município de Coari, Amazonas.....	200
Figura 4.16. Diagrama polínico do afloramento P11, margem direita do rio Solimões, adjacência do município de Coari, Amazonas.....	201
Figura 4.17. Diagrama polínico do afloramento P12, margem do rio Solimões, adjacência do município de Coari, Amazonas.....	202
Figura 4.18. Diagrama polínico do afloramento P13, margem do rio Solimões, adjacência do município de Coari, Amazonas.....	203
Tabela 1. Etapas sucessivas de tratamento químico realizadas em distintas instituições de pesquisa.....	13
Tabela 2. Relação de lâminas palinológicas confeccionadas para a região de Coari.....	14
Tabela 3. Relação de lâminas palinológicas confeccionadas para a região do Alto Solimões.....	15
Quadro 1. Principais subdivisões da Era Cenozoica (modificado da última carta estratigráfica da Comissão Internacional em Estratigrafia, 2013).....	19
Quadro 2. Cartas estratigráficas simplificadas das bacias sedimentares da porção oriental da Amazônia (Soares Junior <i>et al.</i> , 2008).....	26

Sumário

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
APRESENTAÇÃO.....	xiviv
CAPÍTULO 1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	1
1.1 <i>Introdução</i>	1
1.2 <i>Objetivos</i>	3
1.3 <i>Hipótese</i>	3
1.4 <i>Área de Estudo</i>	4
1.4.1 <i>Arcabouço Estrutural</i>	4
1.4.2 <i>Evolução Tectono-Sedimentar, Litoestratigrafia e Paleontologia</i>	6
1.5 <i>Materiais e Métodos</i>	9
1.5.1 <i>Procedimentos de Coleta de Amostra</i>	11
1.5.2 <i>Técnica de Preparação de Amostras</i>	12
1.5.3 <i>Análise Palinológica</i>	16
1.5.4 <i>Fotomicrografias</i>	16
1.5.5 <i>Análise quantitativa</i>	16
1.5.6 <i>Análise de fácies</i>	17
1.5.7 <i>Análise bioestratigráfica</i>	18
CAPÍTULO 2 SÍNTESE SOBRE O NEÓGENO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA E ASPECTOS PALEOFLORÍSTICOS.....	19
2.1 <i>Características Gerais do Neógeno</i>	19
2.1.1 <i>Limites e Subdivisões</i>	20
2.1.2 <i>Distribuição do Neógeno Continental das Bacias Brasileiras</i>	23
2.2 <i>As Principais Unidades Estratigráficas Neógena na Amazônia</i>	24
2.2.1 <i>O Neógeno das Bacias Marginais Transformantes e Riftes Abortados da Amazônia</i>	25
2.2.2 <i>O Neógeno nas Bacias Paleozoicas e de Antepaís Andino Brasileiras</i>	30
2.3 <i>A Paleoflora Neógena na Amazônia Brasileira</i>	35

2.3.1 <i>Floras Neógenas de Climas Tropical e Subtropical na Amazônia</i>	36
2.3.2 <i>Cenário da Amazônia no Neógeno</i>	44
CAPÍTULO 3 RESULTADOS.....	53
Capítulo 3. 1	54
Artigo 1 . Palinologia (Grãos de Pólen de Angiospermas) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), das Regiões de Coari e Alto Solimões.....	55
Capítulo 3. 2	98
Artigo 2 . Palinologia (Esporos de Fungos e Pteridófitas, Grãos de Pólen de Gimnospermas, Cistos de Algas e Escolecodonte) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), Amazonas	99
Capítulo 3. 3	139
Artigo 3 . Palinoestratigrafia e Paleoambiente dos Depósitos de Atalaia do Norte e Tabatinga, Formação Solimões, Amazonas.....	140
CAPÍTULO 4 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS	166
4. 1 Região do Alto Solimões.....	167
4.1.1 <i>Fácies e Paleoambiente</i>	167
4.1.2 <i>Caraterísticas Palinológicas</i>	173
4.1.3 <i>Idade</i>	174
4.1.4 <i>Implicações Paleoecológicas</i>	177
4.1.5 <i>Paleoambiente e vegetação</i>	178
4.2 Região de Coari.....	187
4.2.1 <i>Fácies e Paleoambiente</i>	187
4.2.2 <i>Caraterísticas Palinológicas</i>	191
4.2.3 <i>Idade</i>	193
4.2.4 <i>Implicações Paleoecológicas</i>	195
4.2.5 <i>Paleoambiente e vegetação</i>	196
CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	204
4. 1 Correlações	204

4. 2 Principais Conclusões.....	206
4. 3 Recomendações.....	206
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	208
Anexos	223

APRESENTAÇÃO

Esta Tese de Doutorado, intitulada “Bioestratigrafia e Paleoecologia de Depósitos Neógenos e Pleistocenos Aflorantes na Porção Central e Ocidental da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas, Brasil”, foi desenvolvida entre 2010 e 2014, no Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LPMMT/UFRGS), junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências.

A Tese é constituída das seguintes partes:

- **Capítulo 1 - Aspectos Introdutórios**
Abordam-se, de maneira sucinta, aspectos fundamentais do corpo da tese, tais como objetivos, justificativas e métodos aplicados, para a compreensão da evolução da paleoflora Neógena da Amazônia.
- **Capítulo 2 - Revisão do Conhecimento**
É, resumidamente, abordado o intervalo Neógeno, com seus limites e subdivisões, a distribuição de depósitos dessa idade em território brasileiro, e as principais unidades Neógenas da Amazônia.
- **Capítulo 3 - Resultados**
São apresentados os dados relativos à descrição e interpretação estratigráfica dos depósitos, palinotaxômica, bioestratigráfica e paleoecológica. Este capítulo é iniciado com a subdivisão faciológica e os paleoambientes relacionados, seguida da apresentação dos dados na forma de três manuscritos submetidos e dois artigos publicados (nesse último caso, em anexo).
- **Capítulo 4 - Discussões dos Resultados e Considerações Finais**
Corresponde a discussão dos dados e considerações finais, referente aos temas paleoecologia, paleoambiente e bioestratigrafia.
- **Capítulo 5 - Considerações Finais**
Trata das considerações finais como: correlações, as principais conclusões e recomendações.

CAPÍTULO 1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

1.1 Introdução

A reconhecida modificação do cenário amazônico ao longo do Neógeno (Hoorn *et al.*, 2010ab), sob um permanente clima tropical quente e úmido, promoveu as mudanças na ecologia, que se acha representada nas principais unidades estratigráficas desse intervalo.

Os poucos levantamentos palinológicos desenvolvidos para a Amazônia, concentrados majoritariamente na porção ocidental da Bacia do Solimões, apresentam uma sucessão do Aquitaniano a Plioceno, quando a Formação Solimões inicia sua deposição sob condições costeiras (representada por elementos de área de mangue), alternando-se à planície aluvial até o Tortoniano Médio (Hoorn, 1993; Leite, 2006).

Enquanto no Burdigaliano Superior a início do Langhiano Superior, a porção ocidental da Amazônia, correspondente à Formação Solimões, apresentava uma vegetação predominantemente de planície aluvial na Amazônia oriental, eram acumulados esporomorfos de um vegetal arbóreo de mangue, para a Formação Pirabas.

O Neomioceno-Plioceno da Amazônia é vislumbrado tanto em subsuperfície quanto em superfície, tendo, então, domínio de aporte continental nos ambientes de lagos, pântanos e planície fluvial (Silveira, 2005; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010), relacionados a sistema fluvial meandrante ou fluviodeltaico (Latrubesse *et al.*, 2010; Nogueira *et al.*, 2013).

Um dos importantes fatores de desenvolvimento de paisagem e diversidade na Amazônia é o clima, que controla a distribuição de florestas e savanas (Van Der Hammen & Hooghiemstra, 2000; Vonhof & Kaandorp, 2010). Ainda que atualmente o clima na região norte do Brasil seja tipicamente quente e úmido, o registro de fósseis terrestres e aquáticos, associado à investigação de cunho estratigráfico, aponta para oscilações nas condições climáticas, no decorrer do Neógeno na Amazônia.

Vonhof & Kaandorp (2010) enfatizam que, para entender a variação climática da Amazônia no Neógeno, comparada com a da Amazônia do Quaternário e atualmente, é necessário considerar as diferenças cruciais entre esses períodos. Em escala global, no Neógeno, apresentaram-se diferenças na extensão da camada de gelo polar, que era menor que

no Quaternário (Zachos *et al.*, 2001), e o Istmo da Panamá só se estabeleceu completamente no Plioceno (Lunt *et al.*, 2008), fechando o mar interno na região.

Vonhof & Kaandorp (2010) citam que são três os parâmetros importantes para contextualização da climatologia no decorrer do Neógeno: 1) a mudança da paleolatidade da América do Sul; 2) zona de máxima temperatura da superfície do mar, promovendo troca na intensidade dos ventos; 3) aumento da cadeia de montanha andina ao longo do tempo, com influência nos padrões de circulação atmosférica que cobrem a Amazônia.

É importante enfatizar que, para Vonhof & Kaandorp (2010), a migração da América do Sul no Neógeno é relativamente modesta e não deve ter havido significativo reflexo na climatologia da Amazônia, uma vez que o mais recente levantamento de cunho paleomagnético encontra evidência de que o continente sul-americano moveu-se cinco graus para noroeste nos últimos 20 milhões de anos (Schettino & Scotese, 2005).

Os levantamentos paleoflorísticos realizados para o Neógeno da Amazônia apontam para uma vegetação adaptada a um clima tropical úmido (Leite, 1997, 2006; Silveira, 2005; Garcia *et al.*, 2007; Silva-Caminha *et al.*, 2010; Hoorn *et al.*, 2014), compatível com aquelas encontradas no Peru, Colômbia e Venezuela (Hoorn, 1993, 1994ab; Jaramillo *et al.*, 2010).

Apesar da reconhecida modificação ecológica, os limites de distribuição das paleofloras ainda são carentes de informações. Os levantamentos palinológicos (Lorente, 1986; Hoorn, 1993; Hoorn, 1994ab; Silveira, 2005; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010) apontam para variações locais da paleoflora, quando comparados aos zoneamentos da porção norte da América do Sul.

A potencialidade da Formação Solimões para a preservação de palinóforos, bem como sua recorrente exposição às margens de rios amazônicos, motivou a busca por respostas a questões referentes à distribuição e diferenças na paleoflora Neógena na Amazônia, ao paleoambiente envolvido na geração de acumulações, bem como à relação entre os depósitos neógenos, uma vez que essas informações servem de base para entender aspectos bioevolutivos do norte da América do Sul.

1.2 Objetivos

Este trabalho dá continuidade aos estudos palinológicos em amostras de superfície, desenvolvidos no município de Coari, iniciados no mestrado da autora (Silveira, 2005), bem como estende a novas áreas de coleta, entre Atalaia do Norte e Tabatinga, no Estado do Amazonas. Tem como objetivos gerais as análises paleoecológicas, paleoambientais e posicionamento bioestratigráficos das unidades investigadas. Para atender estes objetivos maiores, os objetivos específicos são: descrição das fácies e posicionamento estratigráfico, levantamento palinotaxônomico, análise quantitativa e qualitativa dos palinomorfos encontrados e comparações entre as áreas.

1.3 Hipótese

Durante o Neógeno na Amazônia, ocorreram mudanças fisiográficas, flutuações na representação da vegetação, sob uma aparente manutenção de clima tropical quente e úmido. O reconhecimento de distintos e sucessivos ecossistemas no decorrer do Mioceno chama a atenção para as peculiaridades locais levantadas.

Na porção ocidental da Amazônia, devem ter ocorrido oscilações entre um ambiente fluvial e costeiro, no intervalo do Mioceno Inferior a Mioceno Médio, que não teriam alcançado a porção mais central da Amazônia. É possível, ainda, que tenha ocorrido erosão de depósitos Neomioceno-Pliocenos em algumas porções da Bacia do Solimões, condicionada por arcos estruturais, como Iquitos e Purus. Estes teriam controlado a distribuição da paleoflora Neógena, promovendo diacronismo em depósitos superficiais. A simples definição de mar interno formando os ambientes redutores na Bacia do Solimões não condiz com os achados paleontológicos, que representam condições redutoras de lagos, pântanos e planície de inundação, alternados às fácies arenosas de um dinâmico e complexo sistema deposicional, que parece ter mudado após o Mioceno Superior.

Somente a partir do Mioceno Superior, é marcado o efetivo contexto continental na Bacia do Solimões, no qual as grandes variações na composição paleoflorística devem resultar de adaptações às mudanças do aporte sedimentar ocorridas ao longo do Neógeno, como consequência das modificações fisiográficas no setor ocidental da Amazônia.

Em função da ausência de trabalhos de cunho palinológico em amostras de superfície na Bacia do Solimões, a presente tese buscou elucidar a distribuição espacial da vegetação no Neógeno, comparando a região central e ocidental da Bacia do Solimões. Com a identificação e análise dos conjuntos de palinomorfos, foi possível responder a questões sobre: 1) a

distinção das assembleias paleoflorísticas; 2) ocorrência ou não de contemporaneidade entre a paleoflora estudada; 3) a natureza das dinâmicas vegetacionais, e 4) registro de incursões marinhas.

1.4 Área de Estudo

A Bacia do Solimões corresponde a uma das bacias interiores brasileiras com importante projeção, por se tratar da mais importante em termos de exploração de hidrocarbonetos. As bacias amazônicas, inicialmente, receberam a nomeação de Bacia do Amazonas; mais tarde, por motivos operacionais, foram individualizadas em bacias do Alto, Médio e Baixo Amazonas. Por apresentarem mesma gênese, as bacias do Médio e Baixo Amazonas foram chamadas unicamente de Bacia do Amazonas, ao passo que a então Bacia do Alto Amazonas passou a ser denominada Bacia do Solimões (Caputo, 1984; Eiras *et al.*, 1994).

1.4.1 Arcabouço Estrutural

A área estudada situa-se na porção leste da Bacia do Solimões, uma sinéclise de orientação leste-oeste, implantada sobre rochas cristalinas e sedimentares de idade Proterozoica da Província Amazônia Central (Eiras *et al.*, 1994). A bacia é separada pelo Arco de Carauari, que a divide nas sub-bacias de Jandiatuba e Juruá. Ao leste, é limitada pelo Arco de Purus, que a separa da Bacia do Amazonas, e, ao oeste, pelo Arco de Iquitos, limite com as bacias subandinas e planície amazônica. Ao sul, a Bacia do Solimões limita-se com o Escudo Brasileiro Central e, ao norte, pelos Escudo das Guianas (Figura 1.1).

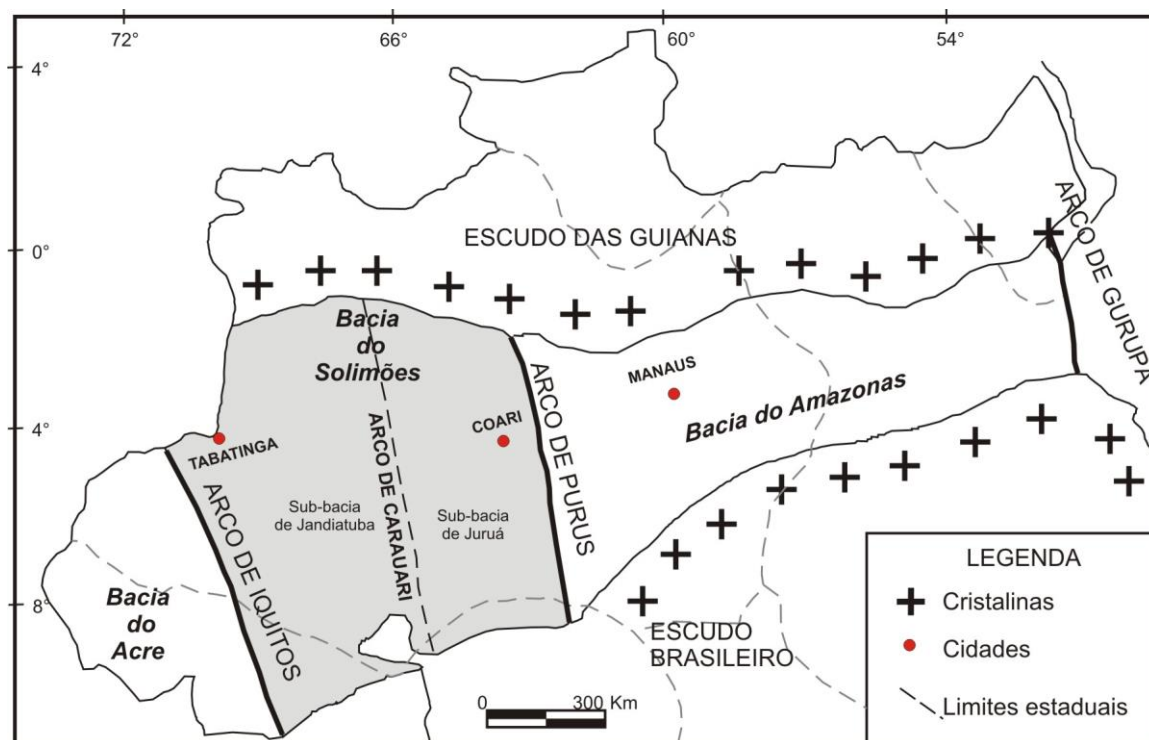


Figura 1.1. Mapa de localização e limites das bacias paleozoicas amazônicas (modificado de Caputo *et al.*, 1971).

O registro sedimentar da Bacia do Solimões é marcado por múltiplos eventos de regressão e transgressão marinha, relacionados aos processos de subsidência e soerguimento, controlados por atividades nos arcos estruturais ativos, principalmente no Paleozoico (Caputo & Silva, 1991). O Arco de Carauari teve controle decisivo na distribuição e espessura das sucessões sedimentares, principalmente no pré-Pennsylvaniano, e provavelmente influenciou a deposição dos depósitos de idade cretácea superior e neógena (Eiras *et al.*, 1994). A última sequência deposicional da Bacia do Solimões, correspondente ao Grupo Javari, individualiza-se em rochas do Cretáceo Superior da Formação Alter do Chão, que é separada por uma discordância erosiva da Formação Solimões, de idade miocena-pleiocena (Cruz, 1984).

A história Neógena da Bacia do Solimões, assim como a das demais bacias do norte da América do Sul, foi influenciada pelo levantamento dos Andes norte-orientais, com a propagação para leste do cinturão dobrado subandino. A reorganização das placas tectônicas causou uma etapa de sobrecarga orogênica no sistema de antepaís amazônico (Hoorn *et al.*, 1995; Roddaz *et al.*, 2005). As modificações paleoambientais e paleogeográficas, associadas a variações paleoclimáticas, moldaram essa parte do continente sul-americano, culminando nas condições particulares, com a implantação do sistema fluvial Amazonas-Solimões e o desenvolvimento da floresta amazônica e sua biodiversidade (Hoorn *et al.*, 2010a; Jaramillo *et al.*, 2010). O estabelecimento da drenagem transcontinental tem sido considerado como do

Mioceno Médio (Hoorn 1994b; Hoorn *et al.*, 1995; Potter, 1997; Gingras *et al.*, 2002; Roddaz *et al.*, 2005), embora alguns autores sugiram idades mais recentes (Mapes, 2009; Nogueira, 2008).

1.4.2 Evolução Tectono-Sedimentar, Litoestratigrafia e Paleontologia

Os modelos deposicionais propostos para o Neógeno Amazônico são ainda alvo de controvérsia, sendo defendido desde um sistema fluvial com manutenção durante todo o Neógeno (Caputo *et al.*, 1971; Caputo, 1973), um sistema fluvial periodicamente alternado a incursões marinhas (Hoorn, 1993; Hoorn, 1994ab; Hovikoski *et al.*, 2005; Rebata *et al.*, 2006; Hoorn *et al.*, 2010ab) ou, ainda, um complexo sistema que varia de estuário a deltaica (Hovikoski *et al.*, 2005, 2008).

Hovikoski *et al.* (2005) analisaram dois afloramentos na região de Madre de Dios, no Peru, interpretados tradicionalmente como continental, porém estruturas como *climbing ripples* em estratificação inclinada heterolítica, bem como reconhecimento de icnofósseis, como *Ophiomorpha*, *Thalassinoides* e *Gyrolites*, permitiram aos autores interpretar os afloramentos como pertencentes a um estuário, que teria ligação com o mar paranaense até o Tortoniano.

Tais achados foram confirmados por Hovikoski *et al.* (2008), que estudaram depósitos miocenos da Bacia do Acre, empregando sedimentologia, icnologia e método estatístico. O reconhecimento de estratificações inclinadas heterolíticas em variadas espessuras e associações de fácies sugeriu fontes geradoras consequentemente distintas, tendo assumido, então, os autores que os estratos formados seriam relacionados a um sistema estuarino ou deltaico, lateralmente passando a um canal fluvial de ambiente continental. Entretanto, não conferiram qualquer relação a um paleomar/paleolago e sua conexão.

De acordo com Rebata *et al.* (2006), os depósitos Nauta, no Peru, seriam correspondentes a um sistema de canais de maré que confirma a permanência de incursões marinhas na Amazônia até o Neomioceno.

No que concerne aos dados paleontológicos, a Formação Solimões na Sub-bacia do Jandiatuba apresenta grande diversidade, incluindo microfósseis, microfósseis vegetais, invertebrados e vertebrados, compatível com as bacias subandinas e Bacia do Acre (Latrubesse *et al.*, 2007; 2010).

Dentre os microfósseis, destacam-se os de cunho palinológico, que correspondem a distintos intervalos do Neógeno nos estados do Amazonas (Hoorn, 1993; Cruz, 1984; Silveira, 2005; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010) e do Acre (Latrubesse *et al.*, 2007).

Microfósseis calcários também são presentes, todavia limitados ao grupo dos ostracodes (Purper, 1979; Purper & Ornellas, 1991; Ramos, 2006; Wesselingh & Ramos, 2010). Embora documentados diversos restos e vestígios de folhas fósseis para a Formação Solimões em território brasileiro, essas ainda não são adequadamente estudadas.

Os moluscos acham-se representados na unidade por gastrópodes e bivalves, que sugerem um ambiente lacustre (Nuttall, 1990; Vonhof *et al.*, 1998; Wesselingh *et al.*, 2002). Os estudos desses organismos permitem o estabelecimento de paleoclimatologia para o Neógeno da Amazônia (Vonhof & Kaandorp, 2010).

Sem dúvida, são os vertebrados os organismos mais estudados na Formação Solimões, encontrados nos estados do Acre e Amazonas (Latrubesse *et al.*, 1997, 2007, 2010; Negri *et al.*, 2010). Nessas áreas, acham-se preservados peixes (Monsh, 1998; Lundberg *et al.*, 2010), aves (Negri *et al.*, 2010), répteis (Cozzuol, 2006; Hsiou & Albono, 2009; Hsiou *et al.*, 2009; Hsiou, 2010; Negri *et al.*, 2010) e mamíferos de diversos hábitos (Cozzuol, 2006; Latrubesse *et al.*, 1997; Latrubesse *et al.*, 2007, 2010; Negri *et al.*, 2010).

Em particular, os mamíferos são usados como indicadores ambientais na Amazônia por Ranzy (2000). Segundo o qual formas indicativas de ambientes de florestas são representadas por roedores (em especial Erethizontidae e Echimyidae), primatas Cebidae e preguiças Xenartra e Pilosa. Ambientes abertos seriam marcados pela presença de mamíferos terrestres, como gliptodontes e tatus pampaterinos (Glyptodontidae e Pamphateriidae), notoungulados da família Toxodontidae, roedores Dinomyidae, Neoepiblemidae e Caviidae, litopternos da família Macraucheniiidae.

Campbell *et al.* (2000) afirmam que a presença de Proboscidea Gomphotheriidae (*Amahuacatherium peruvium*) sugere ambientes abertos com dependência de vegetação arbórea. A ocorrência de grupos aquáticos ou semiaquáticos, como capivaras (Trichechidae), cetáceos odontocetos (Iniidae) e peixes-bois (Trichechidae) indicaria ambientes fluviolacustres.

A Sub-bacia do Juruá, até o momento, tem sua representação paleontológica limitada a elementos vegetais, como folhas, troncos e palinomorfos (Silveira, 2005). Essa grande discrepância de conteúdo indica a necessidade de trabalhos estratigráficos em detalhe, que permitam posicionar melhor os fósseis nos depósitos.

A Formação Solimões está incluída na sequência de segunda ordem mais superior da Bacia do Solimões (Figura 1.2), que inclui os depósitos da Formação Alter do Chão de idade cretácea superior, ambas pertencentes ao Grupo Javari (Cruz, 1984). O contato basal da Formação Solimões com a Formação Alter do Chão é discordante, assim como o contato

superior com os depósitos pleistocenos da Formação Içá. A Formação Solimões possui outras denominações na Amazônia, como a correlata Formação Ramon, que se refere à parte mais superior da Formação Ipururo no Peru (Kummel 1948; Rüegg, 1956; Maia *et al.*, 1977; Khobzi *et al.*, 1980; Schobbenhaus *et al.*, 1984; Wesselingh *et al.*, 2002), e como também à unidade informal “Pebas” (Hoorn, 1993; Hoorn, 1994; Wesselingh *et al.*, 2002; Vonhof *et al.*, 2003). As similaridades litológicas e de idades têm contribuído para a verificação de extensão da Formação Solimões para o norte da Bolívia, sul-sudeste da Colômbia, confinada à Bacia Caquetá-Putumayo; para o norte e leste do Equador e oeste e centro-leste do Brasil. A Formação Solimões é recoberta por depósitos plio-pleistocenos da Formação Madre de Dios (Peru), Formação Ucayali ou Pebas, preenchendo as bacias de Pastaza e Ucayali (Peru), e Formação Içá (Brasil). Entretanto, a falta de idades mais precisas tem dificultado a correlação estratigráfica ao longo da Amazônia Ocidental, Central e Oriental. De fato, os limites das unidades neógenas são ainda desconhecidos.

A idade da Formação Solimões, estabelecida a partir de estudos palinológicos, foi primeiramente proposta por Daemon & Contreiras (1971), que sugeriram idade paleocena à pleistocena. Cruz (1984) admitiu, para a porção central da Amazônia, uma idade entre Eomioceno ao Plioceno. As análises palinológicas de Hoorn (1993) compreendem o Eomioceno ao limite Meso-Neomioceno, idade corroborada por Arai *et al.* (2003). Trabalhos mais recentes, desenvolvidos na porção ocidental da Amazônia brasileira (Silveira, 2005; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010), apontam idades compatíveis àquela estabelecida por Cruz (1984).

A figura 1.2 apresenta a carta estratigráfica da Bacia do Solimões, apresentada por Eiras *et al.* (1994), que apesar de não se tratar da mais recente (Wanderley Filho *et al.*, 2007), é apresentada por apresentar melhor apresentação dos depósitos cenozoicos.

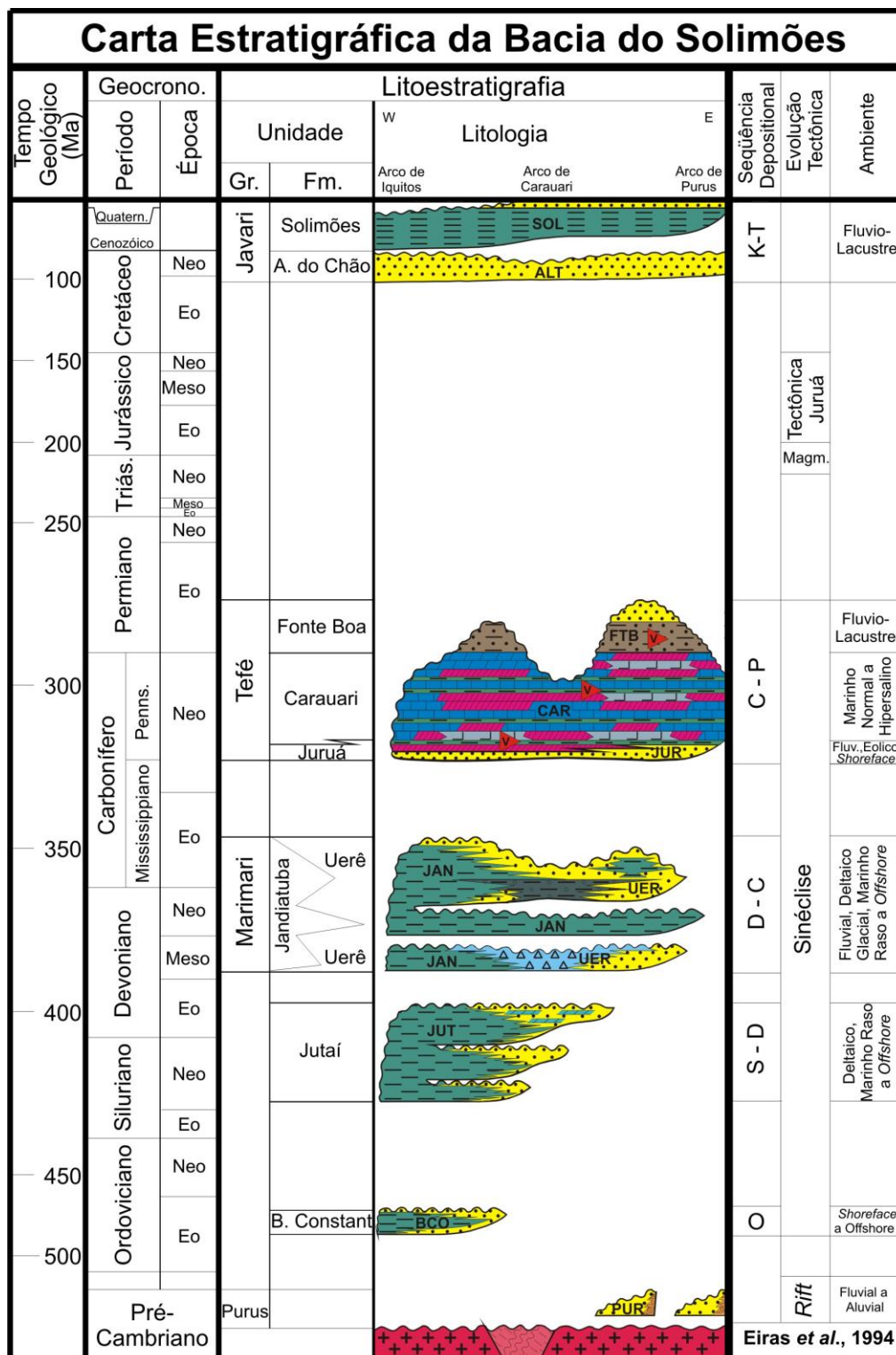


Figura 1.2. Carta estratigráfica da Bacia do Solimões (modificado de Eiras *et al.*, 1994).

1.5 Materiais e Métodos

As áreas de estudo selecionadas neste trabalho compreendem a região central da Amazônia, inserida na sub-bacia de Juruá, região de Coari (Figura 1.3) e áreas adjacentes a Tabatinga e Atalaia do Norte (Figura 1.4), na sub-bacia de Jandiatuba.

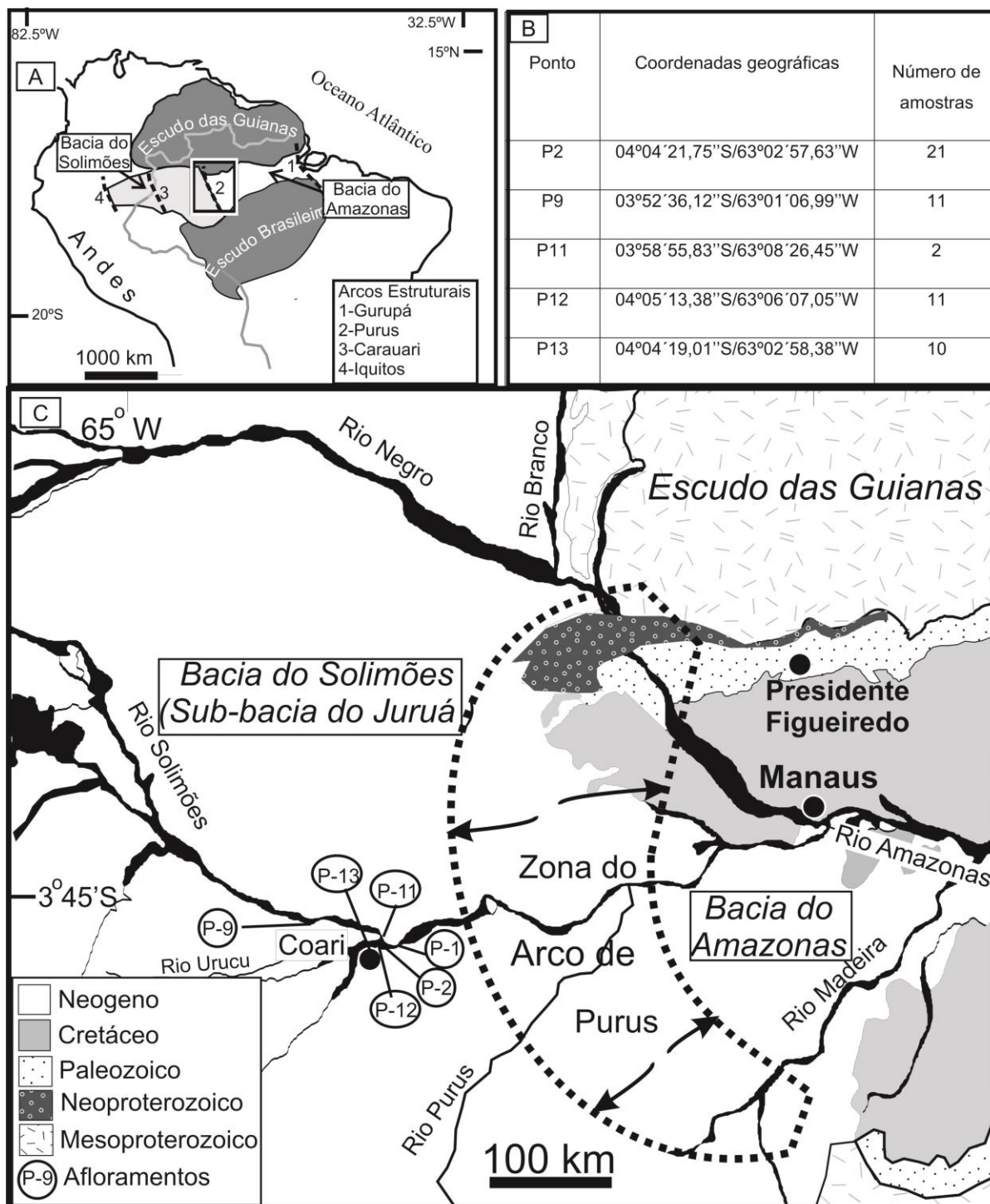


Figura 1.3. Localização da área estudada e número de amostras coletados na área. A e C) Mapa geológico e localização da área estudada e amostragem (pontilhado em C corresponde a limite impreciso do Arco de Purus); B) coordenadas dos afloramentos e número de amostras coletadas na Sub-bacia do Juruá, Bacia do Solimões (modificado de Nogueira *et al.*, 2013).

Na dissertação de mestrado da autora (Silveira, 2005) o estudo bioestratigráfico e sedimentológico de cinco depósitos sedimentares das formações Solimões e Içá foi desenvolvido em afloramentos designados P2, P9, P11, P12 e P13 (Figura 1.3 C), na porção centro-leste da Bacia do Solimões, nas adjacências da cidade de Coari, onde apresentam

melhor exposição nas escarpas fluviais restritas às calhas principais do Rio Solimões e seus tributários. A investigação estratigráfica descontínua na escala de afloramento foi realizada durante o período de vazante, nos meses de outubro e novembro. Em geral, em terra firme, esses depósitos estão recobertos por horizontes de solo e densa vegetação.

Na Sub-bacia de Jandiatuba, região ocidental da Amazônia brasileira, foi realizada descrição e coleta de amostras palinológicas de oito afloramentos nas margens dos rios Solimões e Javari (Figura 1.4). A ideia de expandir a área de estudo, para a porção ocidental do Estado do Amazonas, deve-se à ausência de análise palinológica em amostras de superfície, aliada a investigações sedimentológicas/estratigráficas.

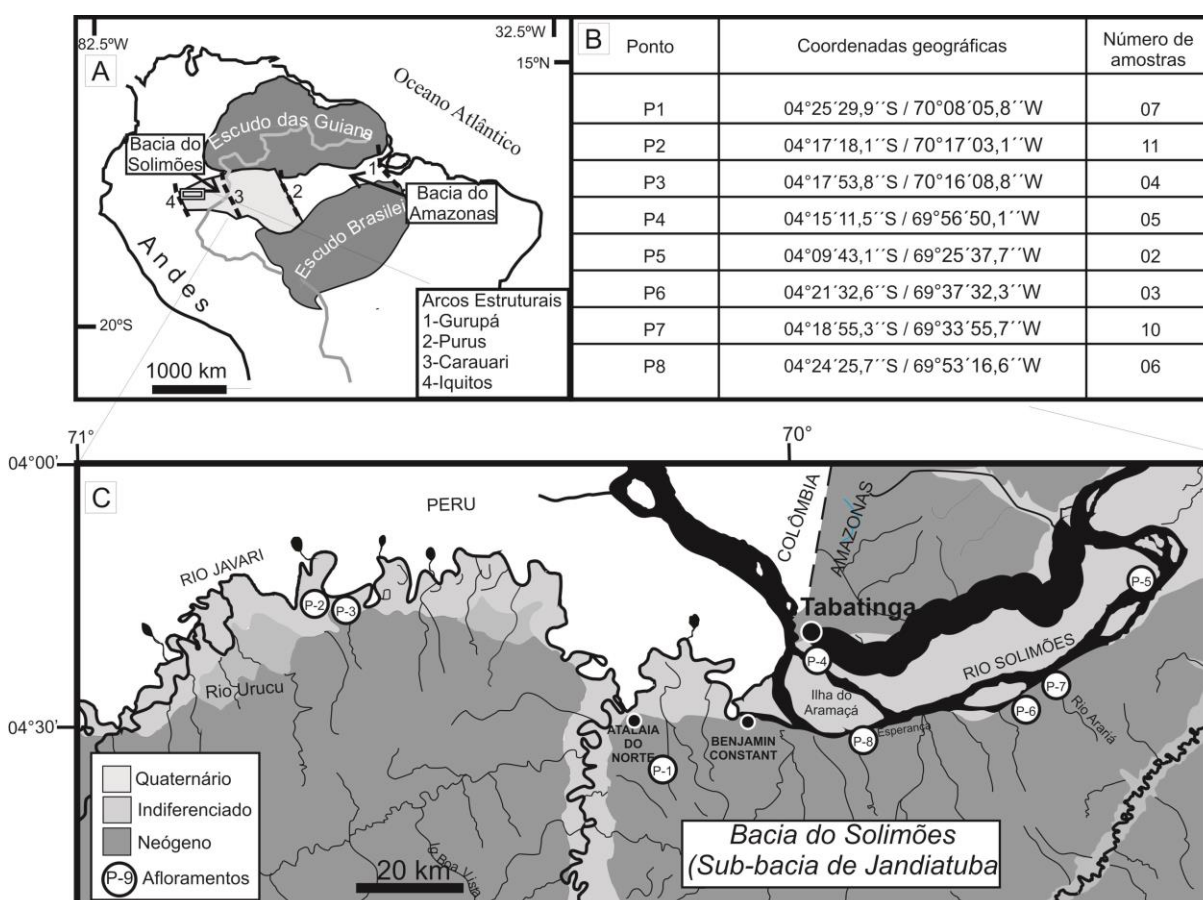


Figura 1.4. Localização e número de amostras coletadas na área. A) Mapas geológico e C) de localização dos pontos de coleta na Sub-bacia do Jandiatuba, Bacia do Solimões; B) coordenadas dos afloramentos e número de amostras.

1.5.1 Procedimentos de Coleta de Amostra

Os níveis utilizados para amostragem foram pelitos e argilas cinza, favoráveis à preservação de matéria orgânica. Todas as amostras foram coletadas no afloramento de forma ascendente, em intervalos espaçados de 20 cm. Foram dispostas em sacos plásticos,

etiquetadas com identificação do local de coleta, número da amostra, disposição em afloramento e confecção de perfis estratigráficos adquiridos em campo.

Após essa etapa, o material foi secado e pesado no Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Amazonas. As amostras provenientes de Coari foram tratadas pela autora no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello - CENPES/PETROBRÁS, enquanto as amostras obtidas de levantamento de campo na região de Tabatinga e Atalaia do Norte passaram pelo tratamento químico no Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo - LPMMT/UFRGS, onde os procedimentos de confecção de lâminas adotados pouco diferem aos empregados pelo CENPES, como apresentado a seguir.

1.5.2 Técnica de Preparação de Amostras

As etapas de tratamento químico das amostras foram realizadas em distintos momentos e em diferentes instituições de pesquisas, onde os métodos mudam ligeiramente (Tabela 1).

Confecção de lâminas para análise palinológica

Na confecção de lâminas, foram necessários: lamínula, lâmina, chapa aquecedora, goma de acácia, água, resíduo palinológico tratado, bandejas, Entellan, canudos e palitos descartáveis.

Para o uso da chapa aquecedora foi estipulada a temperatura aproximada de 60°C. A lamínula foi fixada sobre a chapa com uma gota de água. Gotas de água e goma de acácia foram adicionadas sobre a lamínula, misturando-as. Ainda úmidas, seguiu-se a adição de resíduo palinológico, misturando até homogeneizar na lamínula. Estas prontas foram coladas empregando Entellan à lâmina, na capela. Para evitar a formação de bolhas durante essa etapa, diminuiu-se ao máximo o ângulo de inclinação entre lamínula e lâmina. A posterior, aguardou-se dois dias, para que pudessem finalizar o processo de secagem, para seguir a observação.

Três lâminas foram confeccionadas de cada unidade amostral para análises palinológicas. As lâminas adquiridas no CENPES constituem acervo do Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Amazonas (Tabela 2), enquanto as confeccionadas no Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, IG/UFRGS, tiveram dois destinos, indo parte para a UFAM e parte para palinoteca de referência da UFRGS, sob a codificação MP-P (Tabela 3).

Tabela 1. Etapas sucessivas de tratamento químico realizadas em distintas instituições de pesquisa.

Procedimento	CENPES / PETROBRAS	LPMMT / UFRGS
Eliminação dos carbonatos	As amostras foram colocadas em béqueres de polipropileno de 1000 ml. Adicionou-se HCl (ácido clorídrico) a 32%. Esperou-se, no mínimo, 2 horas para que ocorresse a reação. Acrescentou-se água e, depois de decantação, descartou-se lentamente a solução. O procedimento de lavagem foi repetido três vezes.	Realizou-se o teste de presença de carbonatos pingando gotas de HCl a 32-37%. Havendo efervescência, deixou-se reagir de 10 a 20 minutos. Neutralizou-se com água destilada, sendo a decantação repetida três vezes .
Eliminação dos silicatos	Adicionou-se HF (ácido fluorídrico) a 40% a frio, para eliminação de silicatos, em reação de, no mínimo, 12 horas. Adicionou-se água à solução, esperou-se a decantação e houve descarte lentamente da água. Repetiu-se três vezes o procedimento. O resíduo do fundo do béquer foi peneirado. O retido foi descartado e o resíduo que passou pela malha da peneira foi transferido para um tubo de 250 ml. Esperou-se decantar o material por três horas e, então, realizou-se descarte de partículas sobrenadantes.	Adicionou-se HF (ácido fluorídrico) a 40-48% a frio, em volume igual ao dobro da amostra, para eliminação de silicatos, em reação de, no mínimo, 24 horas. Adicionou-se água à solução. Esperou-se a decantação e houve descarte lentamente da água. Repetiu-se três vezes o procedimento.
Eliminação do fluorsilicato	Adicionou-se 50 ml de ácido clorídrico a 25 % para eliminar os fluorsilicatos. Deixou-se reagir por, no mínimo, uma hora. Lavou-se três vezes com água quente, de maneira a manter os fluorsilicatos em solução, para serem eliminados no descarte de material.	Adicionou-se ácido clorídrico a 37 % para eliminar os fluorsilicatos, em volume igual ao dobro da amostra. A amostra foi colocada em recipiente de vidro e em chapa quente, deixando a solução aquecer até 60° C. Quando resfriada, procede-se à neutralização.
Separação da fração mineral por densidade, empregando o $ZnCl_2$ (cloreto de zinco)	O resíduo obtido foi transferido para tubos de 50 ml, que teve seu volume completado com água. Centrifugou-se por cinco minutos, à velocidade de 1800 rpm (rotação por minuto). A água foi retirada lentamente do tubo e adicionou-se $ZnCl_2$ (cloreto de zinco). Levou-se novamente à centrifugação, por 20 minutos, para separar a matéria orgânica por densidade. Foi formado um sobrenadante, que foi transferido para outro tubo de 50 ml.	Não realizado
Peneiramento, clareamento, eliminação da matéria orgânica amorfa usando KOH (hidróxido de potássio).	O sobrenadante foi transferido para peneira com malha de 10 μ m, onde foi adicionado HCl diluído (1:1). Lavou-se a amostra por três vezes. Eliminou-se a matéria orgânica húmica solúvel com KOH (hidróxido de potássio) a 10%, para que ocorresse a concentração dos palinórfos. O critério usado definir o tempo de ataque por KOH é a coloração chá, que deve deixar de ocorrer ao ser adicionado. O retido na peneira foi transferido para tubos de 10 ml.	Em malhas de 10 μ m, adicionou-se KOH 20-30% ao resíduo, deixando-o em reação entre 10-15 minutos. Seguiu-se a neutralização.

Tabela 2. Relação de lâminas palinológicas confeccionadas para a região de Coari.

Ponto	Amostra	Número da lâmina	
P2	Am 1	P2 Am 1 A, P2 Am 1 B, P2Am 1 C	
	Am 2	P2 Am 2 A, P2 Am 2 B, P2 Am 2 C	
	Am 3	P2 Am 3 A, P2 Am 3 B, P2 Am 3 C	
	Am 4	P2 Am 4 A, P2 Am 4 B, P2 Am 4 C	
	Am 5	P2 Am 5 A, P2 Am 5 B, P2 Am 5 C	
	Am 6	P2 Am 6 A, P2 Am 6 B, P2 Am 6 C	
	Am 7	P2 Am 7 A, P2 Am 7 B, P2 Am 7 C	
	Am 8	P2 Am 8 A, P2 Am 8 B, P2 Am 8 C	
	Am 9	P2 Am 9 A, P2 Am 9 B, P2 Am 9 C	
	Am 12	P2 Am 12 A, P2 Am 12 B, P2 Am 12 C	
	Am 13	P2 Am 13 A, P2 Am 13 B, P2 Am 13 C	
	Am 14	P2 Am 14 A, P2 Am 14 B, P2 Am 14 C	
	Am 15	P2 Am 15 A, P2 Am 15 B, P2 Am 15 C	
	Am 16	P2 Am 16 A, P2 Am 16 B, P2 Am 16 C	
	Am 17	P2 Am 17 A, P2 Am 17 B, P2 Am 17 C	
	Am 18	P2 Am 18 A, P2 Am 18 B, P2 Am 18 C	
	Am 19	P2 Am 19 A, P2 Am 19 B, P2 Am 19 C	
	Am 21	P2 Am 21 A, P2 Am 21 B, P2 Am 21 C	
	Am 24	P2 Am 24 A, P2 Am 24 B, P2 Am 24 C	
	P9	Am 1	P9Am1 A, P9Am1B, P9Am1C
		Am 2	P9Am2A, P9Am2B, P9Am2C
		Am 3	P9Am3A, P9Am3B, P9Am3C
		Am 4	P9Am4A, P9Am4B, P9Am4C
		Am 5	P9Am5A, P9Am5B, P9Am5C
Am 6		P9Am6A, P9Am6B, P9Am6C	
Am 7		P9Am7A, P9Am7B, P9Am7C	
Am 8		P9Am8A, P9Am8B, P9Am8C	
Am 9		P9Am9A, P9Am9 B, P9Am9 C	
Am 10		P9Am10A, P9Am 10B, P9Am10C	
Am 11		P9Am 11A, P9Am 11B, P9Am 11C	
P11	Am 6	P11Am 6A, P11Am 6B, P11Am 6C	
	Am 7	P11Am 7A, P11Am 7B, P11Am 7C	
P12	Am 1	P12Am1 A, P12Am 1B, P12Am 1C	
	Am 2	P12Am2A, P12Am2B, P12Am2C	
	Am 3	P12Am3A, P12Am3B, P12Am3C	
	Am 4	P12Am4A, P12Am4B, P12Am4C	
	Am 5	P12Am5A, P12Am5B, P12Am5C	
	Am 6	P12Am6A, P12Am6B, P12Am6C	
	Am 7	P12Am7A, P12Am7B, P12Am7C	
	Am 8	P12Am8A, P12Am8B, P12Am8C	
	Am 9	P12Am9A, P12Am9B, P12Am9C	
	Am 10	P12Am10A, P12Am10B, P12Am10C	
	Am 11	P12Am11A, P12Am11B, P12Am11C	
P13	Am 1	P13Am1A, P13Am1B, P13Am1C	
	Am 2	P13Am2A, P13Am2B, P13Am2C	
	Am 3	P13Am3A , P13Am3B, P13Am3C	
	Am 4	P13Am4A, P13Am4B, P13Am4C	
	Am 6	P13Am6A, P13Am6B, P13Am6C	
	Am 7	P13Am7A, P13Am7B, P13Am7C	
	Am 8	P13Am8A, P13Am8B, P13Am8C	
	Am 9	P13Am9A, P13Am9B, P13Am9C	
	Am 10	P13Am10A, P13Am10B, P13Am10C	

Tabela 3. Relação de lâminas palinológicas confeccionadas para a região do Alto Solimões.

Ponto	Amostra	Número de laminas
P1	Am 1	MP-P 6764, MP-P 6765,
	Am 2	MP-P 6766, MP-P 6767,
	Am 3	MP-P 6768, MP-P 6769
	Am 4	MP-P 6770, MP-P 6771
	Am 5	MP-P 6772, MP-P 6773
	Am 6	MP-P 6774, MP-P 6775
	Am 7	MP-P 6776, MP-P 6777
P2	Am 1	MP-P 6778, MP-P 6779, MP-P 6780
	Am 1´	MP-P 6781, MP-P 6782, MP-P 6783, MP-P 6784, MP-P 6785
	Am 3	MP-P 6786, MP-P 6787, MP-P 6788
	Am 4	MP-P 7492, MP-P 7493, MP-P 7494, MP-P 7495, MP-P 7496
	Am 5	MP-P 7497, MP-P 7498, MP-P 7499, MP-P 7500, MP-P 7501
	Am 6	MP-P 7502, MP-P 7503, MP-P 7504
	Am 7	MP-P 7505, MP-P 7506, MP-P 7507
	Am 8	MP-P 7508, MP-P 7509, MP-P 7510
	Am 9	MP-P 7511, MP-P 7512, MP-P 7513
	Am 10	MP-P 7514, MP-P 7515, MP-P 7516
P4	Am 1	MP-P 7517, MP-P 7518, MP-P 7519 MP-P 7520
	Am 2	MP-P 7521, MP-P 7546, MP-P 7547, MP-P 7548
	Am 3	MP-P 7549, MP-P 7550, MP-P 7551, MP-P 7552, MP-P 7553
	Am 4	MP-P 7554, MP-P 7555, MP-P 10115, MP-P 10116
	Am 5	MP-P 10117, MP-P 10118, MP-P 10119, MP-P 10120
P5	Am 1	MP-P 10121, MP-P 10122, MP-P 10123, MP-P 10125, MP-P 10126
P6	Am 1	MP-P 10135, MP-P 10136, MP-P 10137, MP-P 10138
	Am 2	MP-P 10127, MP-P 10128, MP-P 10129, MP-P 10130
	Am 3	MP-P 10131, MP-P 10132, MP-P 10133, MP-P 10134
P7	Am 1	MP-P 7726, MP-P 7727
	Am 2	MP-P 7728, MP-P 7729
	Am 3	MP-P 7730, MP-P 7731
	Am 4´	MP-P 7732, MP-P 7733
	Am 4	MP-P 7734, MP-P 7735
	Am 5	MP-P 7736, MP-P 7737
	Am 6	MP-P 7738, MP-P 7739
	Am 7	MP-P 7740, MP-P 7741
	Am 8	MP-P 7742, MP-P 7743
Am 9	MP-P 7744, MP-P 7745	
P8	Am 2	MP-P 10139, MP-P 10140, MP-P 10141, MP-P 10142
	Am 3	MP-P 10143, MP-P 10144, MP-P 10145, MP-P 10146
	Am 4	MP-P 10147, MP-P 10148, MP-P 10149, MP-P 10150
	Am 5	MP-P 10151, MP-P 10152, MP-P 10153, MP-P 10154
	Am 6	MP-P 10155, MP-P 10156, MP-P 10157, MP-P 10158

1.5.3 Análise Palinológica

A comparação com paleopalinoformas descritas para o Neógeno e Quaternário da porção norte da América do Sul foi feita em nível específico, quando possível, ou nível genérico. O reconhecimento taxonômico foi realizado em associação com as afinidades botânicas ou biológicas. Os palinomorfos foram analisados em microscópio Zeiss, com ocular de 10x, e objetivas de 40x, 20x e 100x. Alguns palinomorfos só foram passíveis de visualização empregando luz fluorescente, tais como dinoflagelado e algas como *Pediastrum*.

A análise quantitativa foi utilizada para fornecer subsídio à interpretação paleoambiental. Para tal, foram quantificados, pelo menos, 300 grãos de palinomorfos para cada amostra, que foram separados por grupos: angiospermas, gimnospermas, pteridófitas, algas dinofícea e clorofícea e fungos. O estabelecimento paleoambiental foi realizado a partir de investigações sobre a afinidade botânica e paleoecológica, sendo, para tanto, utilizados os trabalhos de Leite (1997, 2006), Leite *et al.* (1997a), Hoorn (1993, 1994b), Yamamoto (1995), Silva-Caminha *et al.* (2010), além dos consagrados trabalhos de zoneamento do norte da América do Sul.

A análise biocronoestratigráfica foi realizada com apoio dos trabalhos desenvolvidos no Neógeno das bacias brasileiras (Germeraad *et al.*, 1968; Regali *et al.*, 1974ab; Cruz, 1984; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987; Hoorn, 1993; Leite, 2006).

1.5.4 Fotomicrografias

As fotomicrografias foram geradas em microscopia óptica em aumentos de até 1000x, por meio de câmera digital Olympus DP71 acoplada ao microscópio Olympus BX61. As imagens digitais foram obtidas e melhoradas com os *softwares Corel DRAW e Corel PHOTO PAINT* versões 13.0. A montagem das estampas seguiu a ordenação sistemática.

1.5.5 Análise quantitativa

A contagem de palinomorfos concomitantemente à sua identificação foi realizada, para possibilitar análises estatísticas que serviram de base para as inferências paleoambientais. Em cada unidade amostral, foram contados 300 palinomorfos, como recomendado por Hoorn (1993). Após a contagem, os táxons foram agrupados conforme suas afinidades ecológicas em hábito e/ou *habitat*. As contagens foram feitas em aumento de 40x, e raramente sendo necessário analisar em no mínimo três lâminas. A leitura de lâmina foi realizada por transecções verticais, de cima para baixo e da esquerda para direita, com espaçamento entre as linhas de, aproximadamente, um campo visual, para evitar a recontagem de palinomorfos

(Salgado-Labouriau, 2007). As análises de porcentagem foram calculadas pela soma polínica total, à qual foi atribuído valor de 100 (Faegri & Iversen, 1989). Para obtenção desses dados, utilizou-se o software *TILIA/TILIA* Graph* (Grimm, 1987).

1.5.6 Análise de fácies

Esta etapa foi iniciada para a região de Coari entre os meses de outubro e novembro, de 2006 e 2008. Na região de Tabatinga, Benjamin Constant e Atalaia do Norte, esta fase foi iniciada em outubro de 2009.

O método de análise considerou os seguintes aspectos (Walker, 1992):

1. A individualização e descrição de fácies, que procura caracterizar, principalmente, texturas e estruturas sedimentares, levando à compreensão dos processos sedimentares e revelando como a fácies foi gerada.

2. A associação de fácies, que agrupa fácies contemporâneas e cogenéticas, permitindo o reconhecimento dos ambientes e sistemas deposicionais, os quais são sintetizados através de um modelo deposicional, apresentado em bloco-diagrama.

A definição de textura seguiu a escala de tamanho de grãos de Wentworth (1922) e as rochas foram classificadas segundo Folk (1974). A interpretação dos sistemas deposicionais foi feita comparativamente, como os trabalhos de Walker (1984, 1992), Reading & Collinson (1996), Galloway & Hobday (1996), Talbot & Allen (1996).

A sucessão vertical de fácies consistiu na coleta e apresentação de dados estratigráficos em perfis verticais com perspectiva bidimensional. A análise de elementos arquiteturais ocupou-se do estudo de fácies em afloramento que, localmente, se apresentam contínuos por dezenas de metros.

As exposições da Formação Solimões, na região de Coari, ocorrem ao longo das margens de rios e apresentam espessuras máximas de 15 m, sendo recobertas pelos depósitos siliciclásticos da Formação Içá (Figura. 5). A análise faciológica-estratigráfica da Formação Solimões adotada neste trabalho foi aquela proposta por Vega (2006), que considera as seguintes associações de fácies representativas de um sistema deposicional deltaico: prodelta, frente deltaica, barra em pontal e canal fluvial meandrante.

Na região do Alto Solimões, foram selecionados sete afloramentos para análise palinológica, que apresentam melhor exposição de fácies pelíticas. A análise estratigráfica dessa porção difere muito daquela estudada na região de Coari. No caso do Alto Solimões, as fácies pelíticas apresentam, em seu arcabouço, uma rica documentação de fósseis invertebrados (gastrópodes e bivalves), vertebrados e vegetais.

1.5.7 Análise bioestratigráfica

Para esse trabalho foi realizado a bioestratigrafia tradicional, que leva em consideração a presença/ausência ou abundância de marcadores bioestratigráficos na determinação de idade de depósitos. A interpretação desses dados se baseou no levantamento dos biozoneamentos propostos para a porção norte da América do Sul (Germeraad *et al.*, 1968; Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974ab, Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987; Hoorn, 1993; Leite, 2006; Silva, 2008).

CAPÍTULO 2 SÍNTESE SOBRE O NEÓGENO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA E ASPECTOS PALEOFLORÍSTICOS

2.1 Características Gerais do Neógeno

O Cenozoico corresponde à última era do Éon Fanerozoico e tem sua individualização em três períodos: Paleógeno, Neógeno e Quaternário, sendo os dois primeiros correspondentes ao antigo Terciário. O termo Neógeno foi introduzido por Höernes (1853), em estudo de moluscos fósseis, para enfatizar o fato de que Mioceno e Plioceno já exibiam uma fauna contrastante aos intervalos anteriores. O Neógeno compreende as épocas Mioceno e Plioceno (Quadro 1), com início há 23,03 Ma. e término há 2,588 Ma. (duração aproximada de 20,4 Ma.). Ambas as nomeações, Mioceno e Plioceno, foram empregadas por Lyell (1833), e terão seus pormenores comentados adiante.

Eratema/ Era	Sistema/Período	Série/Época	Estágio/Idade	Idade Ma
CENOZOICO	QUATERNÁRIO	Holoceno		
		Pleistoceno	Superior	0,0117
			"Ioniano"	0,126
			Calabriano	0,781
			Gelasiano	1,806
	NEÓGENO	Plioceno	Piacenziano	2,588
			Zancleano	3,600
		Mioceno	Messiniano	5,332
			Tortoniano	7,246
			Serravalliano	11,608
			Langhiano	13,82
			Burdigaliano	15,97
			Burdigaliano	20,43
			Aquitânico	23,03
			PALEÓGENO	Oligoceno
	Rupeliano	33,9 +/- 0,1		
	Eoceno	Priaboniano		37,2 +/- 0,1
		Bartoniano		40,4 +/- 0,2
		Lutetiano		48,6 +/- 0,2
		Ypresiano		55,8 +/- 0,2
Paleoceno	Thanetiano	58,7 +/- 0,2		
	Selandiano	~61,1		
	Daniano	65,5 +/- 0,3		

Quadro 1. Principais subdivisões da Era Cenozoica (modificado da última carta estratigráfica da Comissão Internacional em Estratigrafia, 2013).

Desde o trabalho de Höernes (1853) até os dias atuais, inúmeras foram as proposições para o Neógeno, com crescente aumento temporal do intervalo Quaternário (Figura 2.1), que hoje, além do Holoceno, agrega a época Pleistocena, estendendo-se o Neógeno até 2,588 Ma., conforme “A Geological Time Scale”, de Head *et al.* (2008), aprovada pela *International Commission on Stratigraphy* da IUGS.

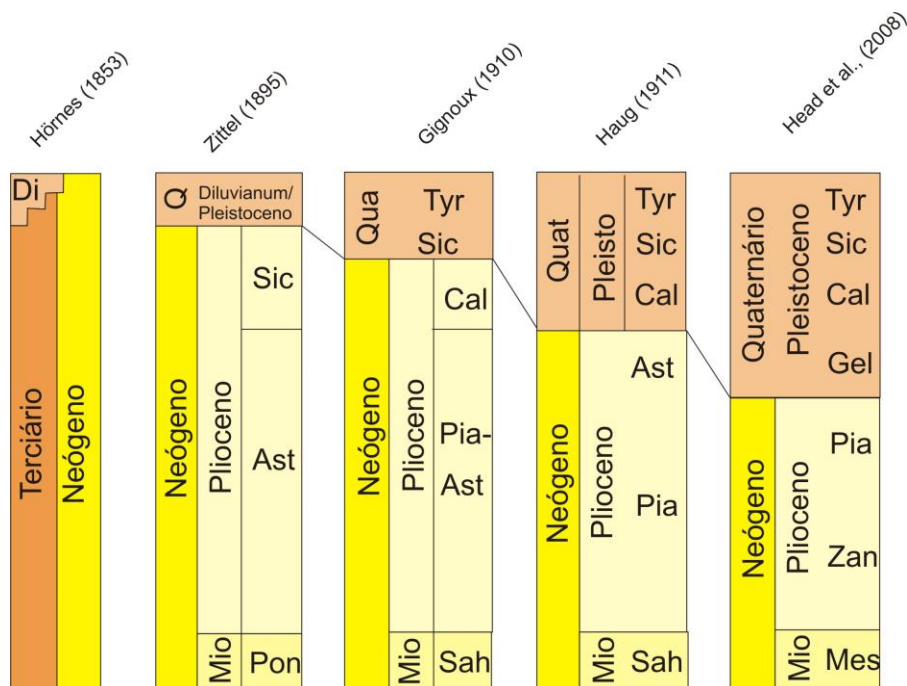


Figura 2.1. Exemplos, selecionados da literatura, mostrando a evolução da terminologia empregada para o intervalo Neógeno, com progressivo aumento da base do Quaternário (Q, Qua, Quat). Outras abreviações: Diluviano (Di), Siciliano (Sic), Astiano (Ast), Pontiano (Pon), Tyrhemiano (Tyr), Saheliano (Sah), Calabriano (Cal), Piacenziano (Pia), Gelasiano (Ge), Zancleano (Zan), Messiano (Mes), Médio (Mid), Superior (Up).

2.1.1 Limites e Subdivisões

Muitos dos zoneamentos aplicados ao Paleógeno e Neógeno baseiam-se em organismos marinhos, como foraminíferos planctônicos, a exemplo dos desenvolvidos em Trinidad. A primeira proposta de subdivisão foi realizada por Cushman & Stainforth (1945), para o limite Oligoceno-Mioceno da Formação Cipero, que foi separado em três zonas. Stainforth (1948) também propôs uma zona para Mioceno Médio da Formação Lengua.

Durante essa fase inicial do emprego de foraminíferos planctônicos na bioestratigrafia, Grimsdale (1951) ofereceu a primeira correlação intercontinental para idade/estágios apoiada no reconhecimento de 41 espécies de foraminíferos planctônicos do Golfo do México e do Caribe. O êxito obtido, principalmente para aplicação ao Paleógeno, fez com que esse zoneamento fosse adotado e se intensificasse esforços na investigação desse seguimento por todas as áreas de Trinidad, no final década de 1940 e início da década de 1950.

Todavia, por causa da quase ausência do Mioceno Superior e de depósitos mais jovens na região de Trinidad, outros organismos, em seções mais adequadas, foram investigados para subdividir esses intervalos. Bolli & Bermudez (1965) introduziram diversas novas zonas para o Mioceno Superior e Pleistoceno. Uma subdivisão mais detalhada do Plioceno para Holoceno foi estabelecida por Bolli & Premoli Silva (1973), baseada em testemunhos de sondagem oriundos da região caribenha.

O Mioceno

O limite inferior do Mioceno coincide com o limite superior da época Oligoceno. Marca esse intervalo a contemporaneidade da fauna de moluscos e transgressões marinhas representadas até os dias atuais. A separação dos intervalos Oligoceno e Mioceno deu-se com base em foraminíferos, quando ocorre a extinção de numulites ao término do Oligoceno e, no Mioceno, começa o aparecimento de *Miogypsina* e *Globigerinoides*.

Isso implica a ocorrência de um limite de 1 ou 2 Ma. posterior à deposição das camadas inferiores do tipo Aquitaniano, que são, por sua vez, posteriores à primeira ocorrência de *Globigerinoides*. Todavia, é difícil traçar com precisão os limites desse intervalo, bem como a rápida evolução da assembleia faunística, não sendo, portanto, esses limites unanimemente aceitos.

O limite Mioceno-Plioceno é marcado pelo rápido aumento na abundância de foraminíferos planctônicos, em particular *Sphaeroidinellopsis*, e pelo aparecimento de *Globorotalia margaritae*, ao término do Mioceno. No sudeste da Europa, é a mudança na paleogeografia que marca o limite entre as épocas Mioceno e Plioceno, com a crise da salinidade Messiniana, associada a depósitos de evaporitos, que recobrem grandes áreas da Bacia Mediterrânea ao término do Mioceno.

Os termos Inferior, Médio e Superior, ou Inicial, Médio e Tardio, figuram na literatura e são meramente convenções, baseadas em propostas de cientistas para categorizar tipo e eventos dentro de uma tríade subdivisão em uma escala linear (Berggen & Van Couvering, 1974).

Por parte de geólogos alemães, foi adotada a tríade do intervalo Mioceno, tendo como limite de separação o aparecimento de muitos foraminíferos planctônicos, como *Orbulina*, sendo ela:

1) **Mioceno inferior** – refere-se aos estágios Aquitaniano e Burdigaliano, primeiramente definidos no sudoeste da França; nessas sequências, com ocorrência de *Miogypsinoïdes* e *Globigerinoides*;

2) **Mioceno médio** – correspondente ao Langhiano e Serravalliano, identificado na região de Piedmont, com aparecimento de *Praeorbulina*, porém com limites de corpos ainda indefinidos;

3) **Mioceno superior** – marcado pela documentação de *Globigerina nepenthes* e *Globorotalia menardii*. Esse intervalo agrega os estágios Tortoniano e Messiniano, sucessivamente, do mais antigo ao mais jovem. Por um tempo, foi empregado o termo Andalusiano para este último estágio, conferido por geólogos espanhóis, mas caiu em desuso.

O Plioceno

Lyell (1833) propôs o termo Plioceno para as faunas mais jovens do Terciário, todas da Bacia do Mediterrâneo, dispostas acima de discordância regional do topo da sequência Miocena. O autor dividiu o Plioceno no que chamou de “Velho Plioceno” (baseado no reconhecimento de mais da metade das espécies ainda viventes), correspondente ao Astiano-Piacenziano, como é agora definido em rochas da Itália; e “Novo Plioceno” (com 90-95% de espécies ainda viventes reconhecidas).

Até a década de 1980, esse período era considerado um dos menos importantes nas subdivisões do Cenozoico. Com duração de cerca de 3 Ma. Esse intervalo passou, há pouco, por franca modificação em sua hierarquia. A subdivisão do Plioceno baseava-se nas investigações desenvolvidas nas sequências de rochas da Itália, que são difíceis de serem reconhecidas em outras partes. Os horizontes inferiores contêm *Sphaeroidinellopsis* e *Globorotalia margaritae*, que substituem *G. menardii*. Na região do Mediterrâneo, os limites são especialmente fáceis de serem reconhecidos, porque os evaporitos são abruptamente sucedidos por margas de uma fauna marinha rasa. Em contraste, os corpos superiores do Plioceno são ainda alvo de controvérsia, posto que se assemelham aos corpos inferiores de um período algo singular, o Quaternário. Este intervalo pode ser reconhecido por um ou mais eventos, como, por exemplo, a reversão do campo magnético da Terra, com idade radiométrica, baseada em horizontes marinhos característicos, ou pode ainda ser definido por eventos originalmente pensados como fixos, mas que investigações subsequentes mostraram flutuações, como o aparecimento de Homem ou o começo das glaciações.

Tal como para o Paleógeno, os mamíferos e micro-organismos são os principais marcadores estratigráficos no Neógeno. Todavia, outros grupos de organismos são considerados importantes, em particular em ambientes neríticos, lagunares e lacustres. No Neógeno, clima e paleogeografia são menos uniformes em comparação com os períodos que o precedem e a paleoecologia passa a ser aspecto importante da paleontologia.

2.1.2 Distribuição do Neógeno Continental das Bacias Brasileiras

Nas bacias brasileiras a documentação do Neógeno é esparsamente distribuída em superfície. Isso ocorre devido aos processos erosivos e de aplainamento de relevo, consequentes do soerguimento que ocorreu durante e pós-Neógeno, que resultou em pronunciadas alterações na paisagem e, conseqüentemente, na rede hidrográfica.

Esse intervalo de tempo é subestimado quando o comparamos aos intervalos paleozoicos e mesozoicos, que estão, em muitos casos, vinculados à geração de hidrocarbonetos no Brasil. O tectonismo andino e o contínuo afastamento do continente africano geraram novas feições estruturais, ou atuaram sobre as já existentes, como reflexo da neotectônica, identificada em várias regiões do país.

Na região sudeste, isso resultou em novas orientações de falhas paleo-mesozoicas e formações de bacias paleógenas, que seguiram sua acumulação nos estágios iniciais do Mioceno, a exemplo das bacias rifte continental brasileiro. Neste tipo de bacias, o maior número de trabalhos publicados é acerca da tectônica cenozoica relacionada às regiões sul e sudeste, destacando-se Almeida (1976), Riccomini (1989) e Hasui (1998) por estudos sobre uma feição topograficamente deprimida e alongada em direção ENE, entre as cidades de Curitiba e Niterói. Almeida (1976) denominou essa feição de Sistema de Riftes Serra do Mar, enquanto Riccomini (1989) a nomeia de Rifte Continental do Sudeste do Brasil.

A idade Oligocena ou, no máximo, Eomiocena é defendida para os depósitos na base da Bacia de Taubaté (Formação Tremembé) e determinada através da ocorrência de notoungulado leontínídeo cf. *Leontinia* Ameghino 1895 (Couto & Mezzalira, 1971). Na região de Minas Gerais, Bacia de Gandarela, a acumulação estende-se até o Eomioceno, de acordo com dados palinológicos (Maizatto, 2001).

Durante o Neógeno, a atividade tectônica voltou a se intensificar na região sudeste, com geração do Gráben Paraíba do Sul, deformação da superfície de Japi e movimento expressivo de blocos falhados na Serra do Mar. As rochas areno-argilosas parcialmente conglomeráticas (Formação São Paulo), sobrepostas à Formação Tremembé, estéreis sob o ponto de vista paleontológico, foram consideradas de idade Pliocena. De acordo com Almeida (1976), durante o Plioceno, foi identificado um terceiro pulso tectônico que afetou o sistema da Serra do Mar, produzindo a acentuação do relevo das montanhas próximas ao rifte e o preenchimento da Bacia de São Paulo com sedimentos clásticos.

De maneira geral, pode-se dizer que, nas bacias marginais, o Neógeno é representado predominantemente por corpos que representam uma regressão marinha. Importantes

discordâncias são registradas e, só no Mioceno, dois desses corpos são utilizados sob óptica global. Empregam-se, entretanto, distintas nomeações aos arenitos, folhelhos, margas, calcários e calcoarenitos que compõem o arcabouço Neógeno das bacias marginais. Apenas o termo Formação Barreiras é empregado indistintamente na grande maioria dessas bacias, ainda que esses corpos apresentem diacronismo.

Nas demais regiões, a representação do Neógeno no Brasil é significativa em superfície, com registro tanto em bacias mesocenoicas de margem distensiva, como em bacias de margem transformantes e riftes mesozoicos abortados. Todavia, a maior parte dos corpos de rochas que correspondem ao intervalo Neógeno acha-se em sub-superfície, alcançando grandes espessuras.

Sem dúvida, são as bacias paleozoicas do norte do Brasil que apresentam em seu arcabouço o contexto continental predominante em superfície. Notória importância geológica/paleontológica é dada às bacias do Acre e Solimões, sendo distribuída, a Formação Solimões (Mio-Plioceno), por grandes extensões. Novos estudos têm expandido as áreas de distribuição em superfície dos corpos Neógenos, pois se tem atribuído idade Miocena aos restritos depósitos superficiais da Bacia do Amazonas, em áreas próximas a Manaus, antes definidos como corpos pertencentes à Formação Alter do Chão (Soares, 2007; Abnader, 2008).

2.2 As Principais Unidades Estratigráficas Neógena na Amazônia

A região norte do Brasil é caracterizada por vasta planície, que se estende entre os planaltos das Guianas, ao norte, e brasileiro, ao sul. Entende-se como Amazônia Legal a porção que corresponde às áreas da Amazônia em território brasileiro, englobando os estados do Acre, Amazonas, Pará, Amapá, Roraima e Rondônia, além de áreas dos estados do Mato Grosso, ao norte do paralelo 16°, de Goiás, ao norte do paralelo de 13°, e do Maranhão, a oeste do meridiano 44°.

A depressão central disposta na região norte do Brasil recebeu, inicialmente, a designação de bacia Amazônica. Ao longo do tempo, esta foi individualizada, por motivos operacionais, em bacias do Alto, Médio e Baixo Amazonas. Em função de mesma gênese, as bacias do Médio e Baixo Amazonas receberam a nomeação de Bacia do Amazonas, enquanto a Bacia do Alto Amazonas passou a ser conhecida por Bacia do Solimões. A Bacia do Acre apresenta peculiar gênese, que a coloca como a única de antepaís andino dentre as bacias brasileiras (Figura 1.1).

2.2.1 O Neógeno das Bacias Marginais Transformantes e Riftes Abortados da Amazônia

A porção oriental da Amazônia engloba todas as bacias de margem transformantes do país, representadas pelas bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Barreirinhas e Ceará, além das bacias riftes mesocenoicas abortadas, correspondentes às bacias do Maranhão, Grajaú, São Luís e Bragança-Viseu (Figura 2.2). No que tange às bacias de margem transformantes, quando comparadas às demais bacias marginais, não são síncronas e diferenciam-se quanto aos estilos de esforços aplicados (Rossetti & Goés, 2004; Rossetti, 2006).

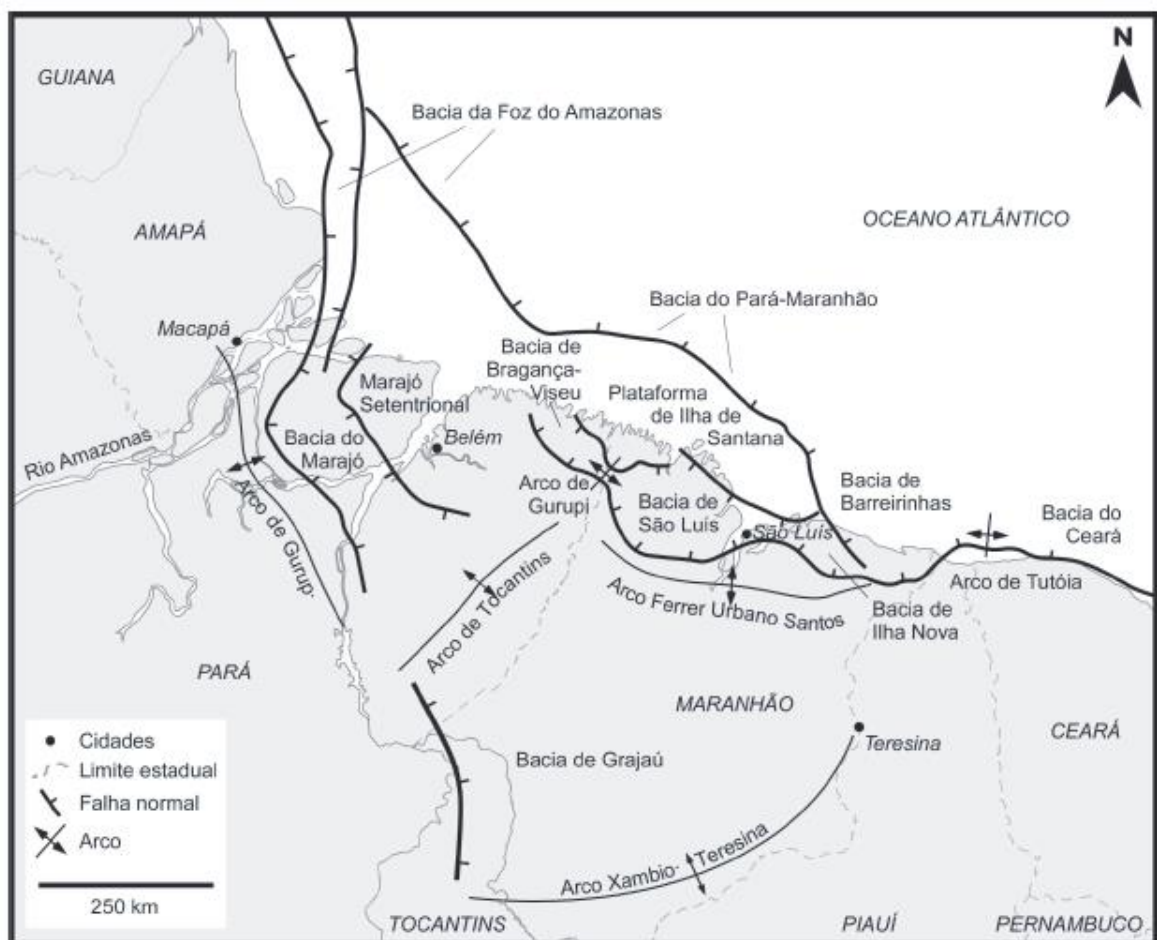
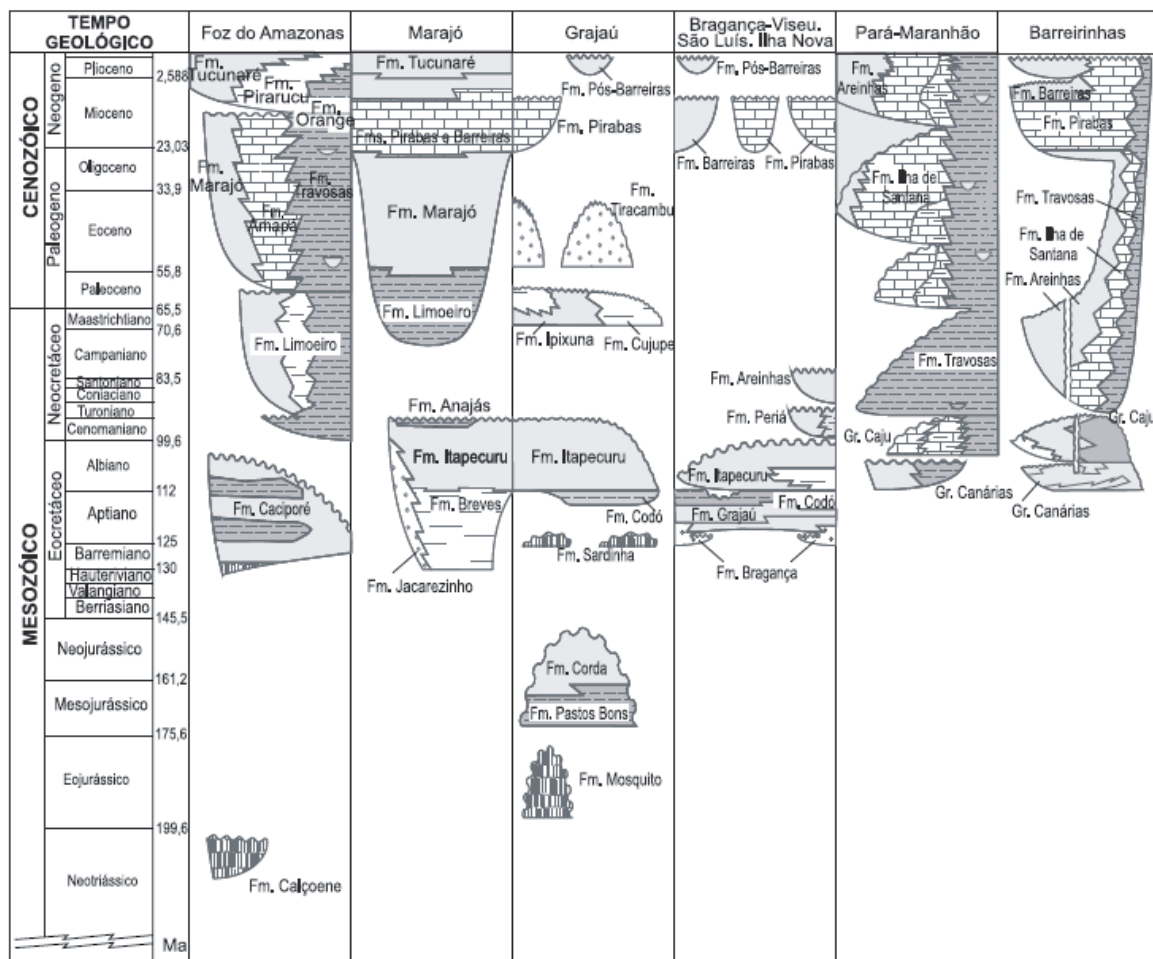


Figura 2.2. Mapa de localização das bacias riftes e marginais mesocenoicas da Amazônia (Soares Junior *et al.*, 2008).

A deposição Neógena da região norte do Brasil ocorreu sob condições de forte controle tectônico, com desenvolvimento de vales que se encaixam ao longo de zonas de falhas normais NW-SE e inclinadas para NE e falhas transcorrentes NE-SW, que funcionaram como zonas de transferência (Hasui, 1990; Igreja *et al.*, 1990; Rossetti & Goés, 2004),

resultado da manifestação extensional na margem equatorial brasileira, durante o evento de separação América do Sul–África (Costa *et al.*, 1993).

Tanto as bacias de margem transformante, quanto os riftes mesozoicos abortados, apresentam notória acumulação no intervalo cenozoico, correspondendo, assim, à contínua sequência de deposição iniciada no mesozoico, à exceção das bacias riftes Bragança Viseu, São Luís e Ilha Nova (Quadro 2).



Quadro 2. Cartas estratigráficas simplificadas das bacias sedimentares da porção oriental da Amazônia (Soares Junior *et al.*, 2008).

Dentre as bacias orientais da Amazônia, a Bacia da Foz do Amazonas apresenta o melhor registro de mudanças na sedimentação no Neógeno, relacionada ao estabelecimento do Rio Amazonas. Das duas sequências estratigráficas que preenchem a Bacia da Foz do Amazonas, a sequência de Margem Passiva é dividida em dois intervalos: 1) Pré-Amazonas (Cenomaniano ao Mioceno, de 96 a 11 Ma); e, 2) Leque do Amazonas (Mioceno a Recente) (Soares Junior *et al.*, 2008).

O Neógeno da Bacia do Pará-Maranhão é marcado pela continuada deposição marinha agradacional das formações Areinhas, Ilha de Santana e Travosas. Na Bacia do Barreirinhas, contudo, domina, a partir do Mioceno Inferior, a deposição de extensa plataforma carbonática (Formação Pirabas) que, na porção oeste da bacia, é marcada por duas discordâncias associadas ao “mar de Pirabas”, uma no Mioceno Inferior (~16,5 Ma) e outra no Mioceno Superior (~11 Ma), que constitui a mais evidente discordância na Margem Equatorial. De acordo com Rossetti (2001), essa é bem nítida em imagens de sísmica e confirmada por dados de poços, além de ser constatada em superfície (Soares *et al.*, 2007).

A Bacia do Marajó, dentre as bacias riftes, apresenta maiores espessuras, chegando a atingir até 11 km, e divide-se nas sequências Rife e Pós-Rife (Lima, 1987; Villegas, 1994; Costa *et al.*, 2002; Soares Junior *et al.*, 2008). O Neógeno dessa bacia corresponde à contínua deposição da formação Marajó, iniciada no Eomioceno, estendendo-se até o Plioceno, sendo sucedido pela Formação Tucunaré. Tais formações correspondem a depósitos de ambiente fluvial e planície costeira e sedimentos indiferenciados do sistema de drenagem do Rio Amazonas.

As formações Pirabas e Barreiras são as unidades de maior representação, por distribuírem-se nas várias bacias da Amazônia oriental. Entretanto, as formações Pirabas e Barreiras representam um quadro paleoambiental distinto de todas as demais bacias amazônicas brasileiras, como é apresentado a seguir.

O Contexto Marinho das Formações Pirabas e Barreiras na Amazônia Oriental

O Neógeno da porção oriental da Amazônia é representado pelas unidades Formação Pirabas (Neo-Oligoceno/Eomioceno) e Barreiras (Meso-Neomioceno). Essas constituem afloramentos descontinuamente expostos ao longo de falésias costeiras, cortes de estradas ou minas a céu aberto, entre o Amapá e Maranhão, podendo ser encontrados em ocorrências menores no Estado do Piauí.

As primeiras referências aos depósitos neógenos da região oriental da Amazônia são remotas (Penna, 1876; Katzer, 1933; Oliveira & Leonardos, 1943) e referenciam-se, a princípio, aos aspectos paleontológicos da Formação Pirabas, iniciadas por Maury (1925). A autora propôs o termo Formação Pirabas para designar os calcários de composição química muito variável, com ou sem intercalações de argilas e arenitos.

Dentre as unidades neógenas da porção oriental da Amazônia, a Formação Pirabas é a que melhor documenta os vários organismos marinhos fósseis (Fig.2.3). Os invertebrados merecem notoriedade por se tratarem de formas abundantes, diversificadas (em particular

bivalves) e excepcionalmente bem preservadas. São encontrados poríferos, cnidários, briozoários (Maury, 1925; Ferreira & Fernandes, 1997; Távora *et al.*, 2002ab); gastrópodes, bivalves e cefalópodes (White, 1887; Maury, 1925; Ferreira, 1960; Oliveira, 1958; Maia Jr., 2001; Barros & Assis, 2001). Crustáceos decápodes também são registrados (Távora & Souza, 2000; Távora *et al.*, 2002b). Muitos de seus elementos acham-se presentes nas biotas atuais da costa brasileira e caribenha (Brito, 1993).

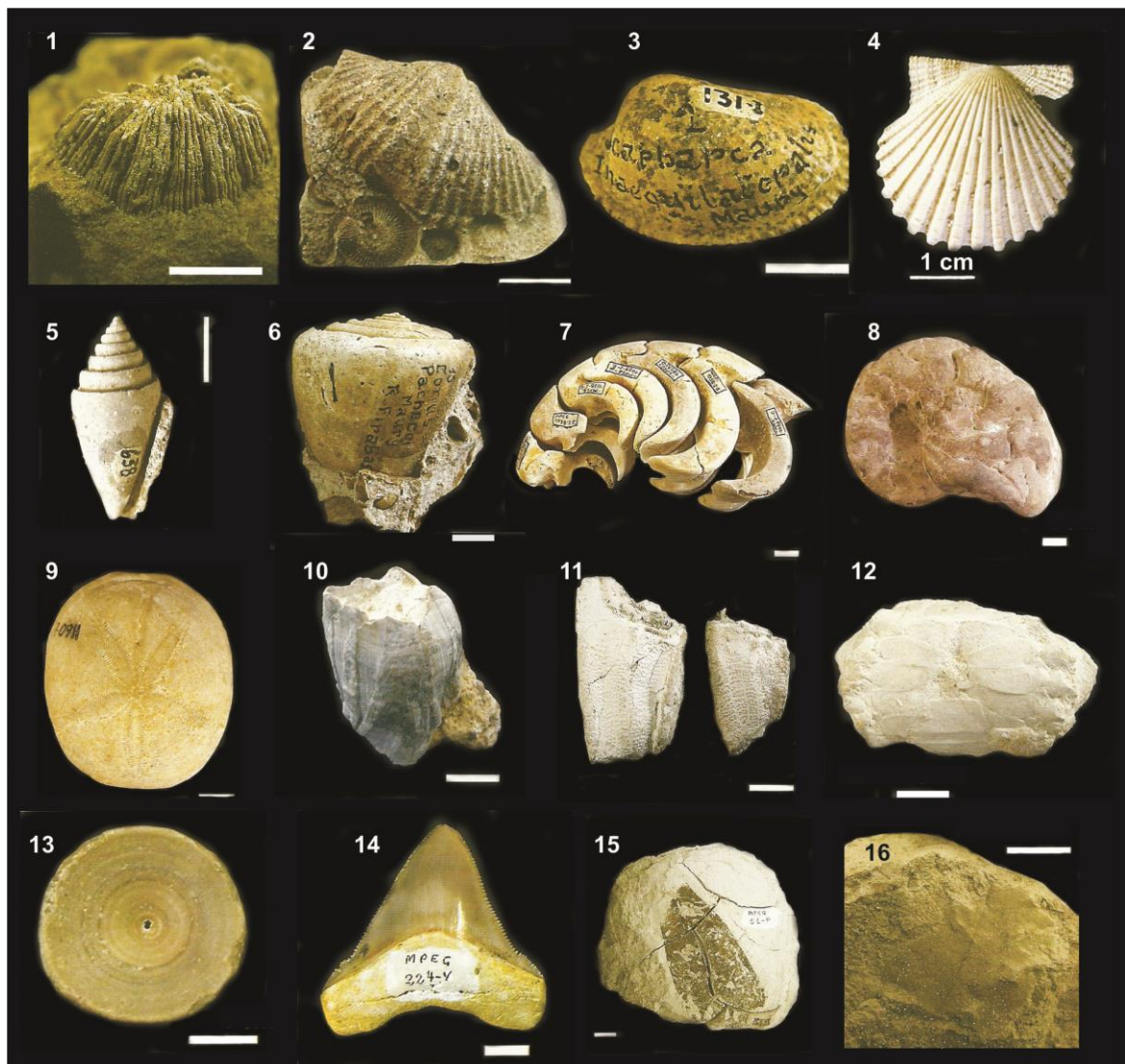


Figura 2.3. Alguns dos fósseis encontrados na Formação Pirabas. 1. *Discotrochus* sp., 2. *Mucrospirifer* cf. *pedroanus*, 3. *Arca* (*Scapharca*) *inaequilateralis* (Guppy, 1866), 4. *Clamys* (*Argopecten*) *capanemensis* (Ferreira, 1960), 5. *Conus restitutus* (White, 1887), 6. *Conus pirabensis* (Maury, 1925); 7. *Aturia ackermanni* (Oliveira, 1958); 8. Gen et esp. Ind. 9. *Cassidulus* sp. (Brito, 1981); 10. *Megabalanus tintinnabulum* (Buerlen, 1958); 11. *Scylla costata* (Rathbun, 1919); 12. Gen. et esp. Ind., 13. *Elasmobranchii incertae sedis*, 14. *Carcarodon* sp., 15 e 16. Folhas fósseis proveniente do município de Capanema, PA. (extraído de Barros & Assis, 2001; Rossetti & Góes, 2004).

Apesar de menos frequentes, as vértebras encontradas na Formação Pirabas são importantes por incluírem os principais grupos de vertebrados marinhos, como sirênios, peixes ósseos, répteis (quelônios e crocodilos) (Costa *et al.*, 2004).

A análise de testemunhos de sondagem permitiu a identificação de microfósseis marinhos por Petri (1954) na região de Cururu, Ilha de Marajó, sendo descritas 70 espécies de foraminíferos bentônicos e planctônicos correspondentes ao Mioceno Inferior. A mesma idade foi verificada pelo autor em estudo de afloramentos da Formação Pirabas, na zona de Bragantina (Petri, 1957).

Estudos sobre ostracodes só começaram a ser realizados, na Formação Pirabas, na década de 1970, em afloramentos do litoral paraense, na Ilha de Fortaleza e Praia do Atalaia (Macedo, 1970, 1971, 1973), que resultaram no reconhecimento de ambientes epineríticos tropicais a subtropicais. Távora (1994) verificou grande similaridade entre a fauna estudada, no município de Maracanã, com a da região caribeaná relacionada à Formação Brasso, de Trinidad.

Nanofósseis calcários (Quadros & Fernandes, 1982; Concheyro & Távora, 1992; Shimabukuro & Ferreira, 1996), diatomáceas cêntricas (Távora & Costa, 2003) e escleritos de octocorais (Távora *et al.*, 1997) são também registrados como representantes dos microfósseis da Formação Pirabas, ainda que menos frequentes que os foraminíferos e ostracodes.

Folhas fósseis foram registradas como impressões nos calcários e argilitos calcíferos cinza escuro da Formação Pirabas (Petri, 1957; Ackermann, 1964; Duarte, 2004). Foi atribuído a esses depósitos um ambiente litorâneo de águas rasas e calmas, correspondente à associação de fácies de plataforma restrita/laguna, que pode estar intercalado com depósitos de mangues.

Aos depósitos siliciclásticos da Formação Barreiras foi, por muito tempo, atribuída idade Pliocena/Pleistocena, de natureza exclusivamente continental, por correlação com depósitos homônimos que ocorrem na costa brasileira (Mussa, 1958; Amador, 1982). Estudos palinológicos apontam para deposição da unidade no Mioceno Médio (Arai *et al.*, 1988; Arai, 1997; Leite, 1997; Leite *et al.*, 1997a), com influência marinha (Arai, 1997; Leite, 1997; Leite *et al.*, 1997ab). Também nos depósitos siliciclásticos da Formação Barreiras foi registrada a presença de folhas fósseis (Mussa, 1958; Dutra *et al.*, 2001).

Estudos de caráter palinológico iniciaram-se na região Bragantina com Arai *et al.* (1988), em depósitos siliciclásticos de superfície sobrepostos à Formação Pirabas, com correspondência litoestratigráfica com a Formação Barreiras. Mais tarde, os argilitos negros

intercalados por calcários, correspondentes a depósitos da Formação Pirabas e Barreiras, foram analisados (Arai *et al.*, 1994; Arai, 1997; Leite *et al.*, 1997ab).

Por muitos anos, as unidades Pirabas e Barreiras tiveram seus limites imprecisos, por carência de estudos sedimentológicos/estratigráficos. Dessa maneira, eram interpretadas como geneticamente não relacionadas, correspondendo a Formação Pirabas à sucessão carbonática com intercalações secundárias de folhelhos negros e esverdeados e arenitos amarelados (Petri, 1954; Ferreira, 1966), e a unidade sotoposta, Formação Barreiras, aos siliciclásticos de cores variegadas (Sá, 1969).

A variada documentação paleontológica da Formação Pirabas permitiu o estabelecimento de idade Oligo-Mioceno, com base na presença do gastrópode *Orthaulax pugnax* (Ferreira, 1982) e de foraminíferos (Petri, 1954). À Formação Barreiras foi, por muito tempo, atribuída idade Pliocena, por correlação com depósitos similares que ocorrem no nordeste brasileiro. Os dados palinológicos, contudo, indicam que a Formação Barreiras já estava depositada no Mioceno (Arai *et al.*, 1988; Arai, 1997; Leite *et al.*, 1997).

Ainda que a Formação Barreiras tenha sido considerada, por décadas, como unidade de origem continental (Oliveira & Leonardos, 1940, 1943; Bigarella, 1975; Petri & Fulfaro, 1983), hoje se sabe que, pelo menos, a porção basal da seção aflorante no nordeste do Estado do Pará é de natureza marinha. A atribuição a esse paleoambiente é dada pelo reconhecimento de fósseis marinhos (Arai *et al.*, 1988; 1994; Leite, 1997; Leite *et al.*, 1997ab; 2004), estruturas sedimentares originadas sob regime de maré (Rossetti *et al.*, 1989; Costa *et al.*, 1993; Truckenbrodt *et al.*, 1994) e icnofósseis neríticos (Costa *et al.*, 1993).

De acordo com Arai (1997), a suspeita de influência marinha no Barreiras já havia sido levantada no Espírito Santo, por Oliveira & Leonardos (1940), e no Rio Grande do Norte, por Salim *et al.* (1975). No primeiro caso, atribuiu-se a influência marinha com base na ocorrência de moluscos e briozoários; e, no segundo caso, com base na abundância, na associação polínica, de pólenes característicos da vegetação de mangue.

2.2.2 O Neógeno nas Bacias Paleozoicas e de Antepaís Andino Brasileiras

Diferente das unidades Neógenas da Amazônia Oriental, as demais bacias amazônicas brasileiras têm efetiva representação em superfície de contexto continental para o Mioceno e Plioceno, com influência marinha verificada apenas em subsuperfície (Hoorn, 1993; Leite, 2006). Faz-se necessário enfatizar que na Bacia do Amazonas, até pouco tempo, tinha-se, como representação Neógena, apenas a porção ocidental, correspondente à Formação

Solimões. A seguir são apresentadas as características dessa nova unidade, sob o ponto de vista estratigráfico, palinológico e paleoambiental.

A Formação Novo Remanso na Bacia do Amazonas

A escassez de dados sedimentológicos/estratigráficos e paleontológicos inviabiliza o completo estabelecimento estratigráfico das unidades sedimentares pós-paleozoicas da Bacia do Amazonas. Por décadas, essas unidades foram ignoradas ou, simplesmente, agrupadas em trabalhos de mapeamento geológico como sequência do Grupo Javari, que correspondem às formações Alter do Chão e Solimões (Fig.2.4).

Para a sequência cretácea, foi definida a bioestratigrafia da porção inferior-média da Formação Alter do Chão com base na palinologia, tendo sido inicialmente posicionada no Mesoalbio-Turoniano (Daemon, 1975) e, mais recentemente, no Neo-Aptiano-Cenomaniano (Dino *et al.*, 1999). Entretanto, a respeito da falta de dados de datação da porção superior, esta também tem sido considerada, ainda que com controvérsias, como de idade cretácea. Por muito tempo, a exposição da porção mais superior dessa formação, na forma de “barrancos avermelhados” nas margens dos rios da Bacia do Amazonas, permitiu que ela fosse associada ao Grupo Barreiras (Moura, 1938; Oliveira & Leonardos, 1943; Loczy, 1966; Lourenço *et al.*, 1978; Shobbenhaus & Bellizia, 2000).

Apesar da atual carta estratigráfica (Cunha, *et al.*, 2007) não incluir registro sedimentar paleógeno e/ou neógeno, estudos recentes (Rozo, 2004; Rozo *et al.*, 2005; Soares, 2007; Abinader, 2008; Andrade & Soares, 2009; Dino *et al.*, 2012) descrevem depósitos fluviais pós-cretáceos (Neógeno), aflorantes em diversos locais da Amazônia Central, entre Itacoatiara e Manacapuru, numa extensão de mais de 300 km, sobrepostos discordantemente à Formação Alter do Chão, a qual recebe o nome de Formação Novo Remanso.

Coube a Rozo *et al.* (2005) a formalização da unidade Neógena para Formação Novo Remanso, devido à ocorrência na localidade homônima, a sudoeste de Itacoatiara. Abinader (2008) subdividiu a unidade em duas porções, separadas por superfície de descontinuidade, recebendo a porção inferior o nome de Formação Iranduba e a superior correspondendo à Formação Novo Remanso.

Para Rozo *et al.* (2005) a Formação Novo Remanso é constituída de arenitos ferruginosos grossos a arenitos finos a médios, friáveis, moderadamente selecionados e com estratificação tabular orientada para E-SE. Contudo, os arenitos grossos podem ocorrer segregados nos planos cruzados, onde os arenitos ainda ocorrem como acamamento maciço. Os depósitos organizam-se em ciclos granodecrescente ascendente capeados por argilas

maciças, lâminas e mosqueadas. A unidade é interpretada como depósitos de migração de forma de leito de canal, sedimentos de planície de inundação e de canal abandonado. O predomínio de depósitos finos de planície de inundação sugere tratar-se de sistema fluvial meandrante (Rozo *et al.*, 2005).

Em termos paleontológicos, são documentadas apenas as associações palinológicas (Dino *et al.*, 2006, 2012). Estes autores reconhecem uma associação constituída por palinomorfos representantes das angiospermas, como *Inaperturopollenites* sp., *Araucariacites* sp., *Ranunculacidites operculatus*, *Tricolpites bendiensis*, *Tricolpites caquetanus*, *Tricolpites* sp., *Ilexipollenites margaritatus*, *Illexipollenites* sp., *Striatopollis catatumbus*, *Perfotricolpites digitatus*, *Monoporites annulatus*, *Perinsyncolporites pokorny.*, *Bombacacidites baumfalki*, *B. eckfeldensis*, *Bombacacidites* sp., *Crototricolpites annemariae*, *Corsinipollenites oculus-noctis*, *Cricotriporites guaianensis*, *Tricolporites* sp. e *Echiperiporites* sp., bem como esporos: *Deltoidospora adriennis*, *Deltoidospora* sp., *Psilatriteles*, *Polypodiisporites usmensis*, *Hamulatisporites* sp., *Leptolepidites* sp., *Verrutriteles* sp. 1, *Verrutriteles* sp. 2, *Verrucatriteles*, *Laevigatosporites*, *Verrucatosporites* e a espécie-guia *Grimsdalea magnaclavata*.

Foi, ainda, informalmente comunicado à Universidade Federal do Amazonas a presença de folhas fósseis, encontradas no período de construção da ponte que liga Manaus ao município de Cacao Pireira.

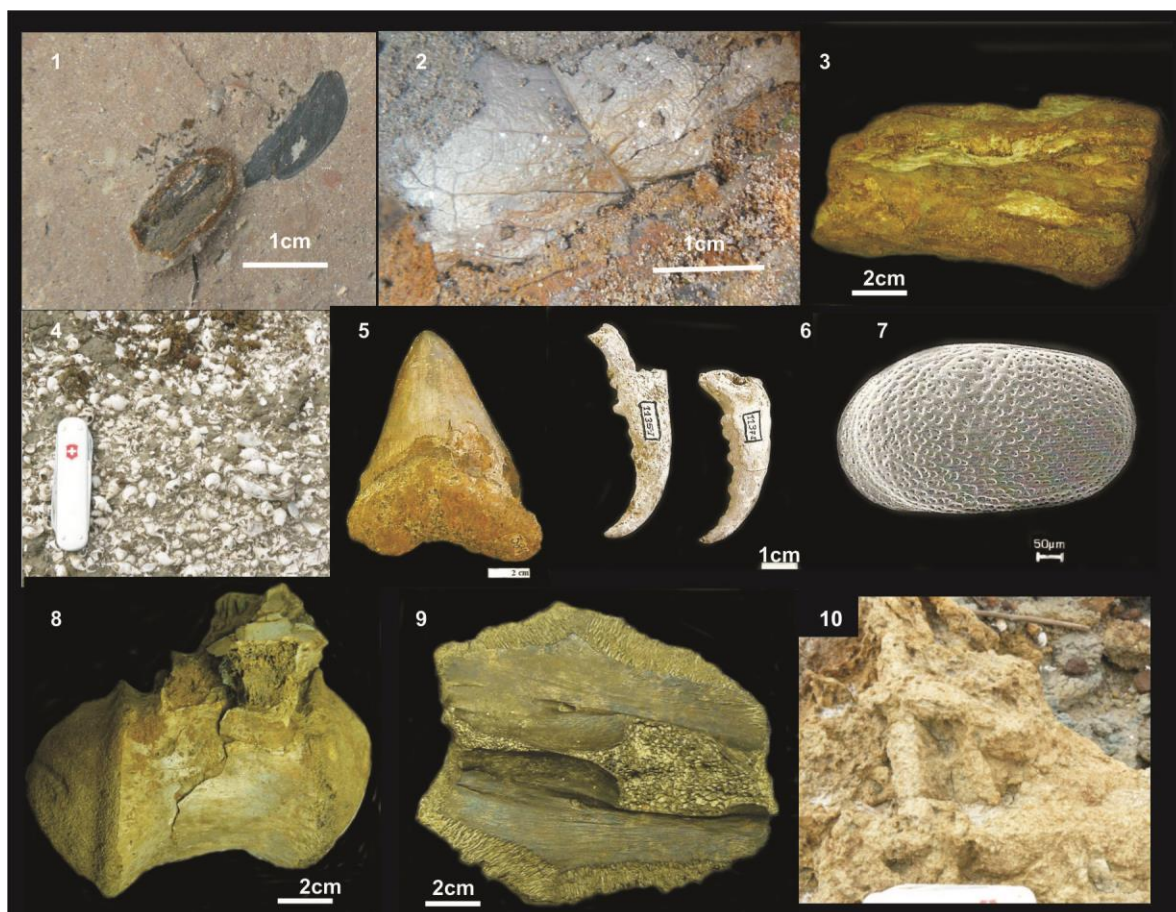


Figura 2.5. Alguns dos fósseis encontrados na Formação Solimões. 1 e 2. Sementes e vestígio de folhas provenientes do rio Envira, AC, 3. Tronco fóssil coletado no rio Solimões, Tabatinga, AM; 4. Gastrópodes e bivalves em afloramento às margens do rio Javari, Atalaia do Norte, AM; 5. Dente de *Carcharodon megalodon* (Agassiz, 1835), Rio Juruá, AM. 6. Apêndices de crustáceos (garras de quelípedo), AC; 7. *Cytheridella purperae* (Ramos, 2006), Torre da Lua, margem do rio Tarauacá, Eirunepé, AM; 8 e 9 Vértebra de organismo indeterminado e placa dérmica de quelônio coletadas às margens do rio Javari, Atalaia do Norte; 10. Icnofóssil em fácies arenosas da Formação Solimões, Atalaia do Norte, AM. Imagens da autora.

O contexto marinho é defendido por Hoorn (1993), Hoorn *et al.* (2010ab) para a porção mais ocidental da Amazônia colombiana e brasileira, em estudos de subsuperfície, e corroborado por trabalhos de natureza estratigráfica, tanto na Amazônia colombiana e peruana, como brasileira, em particular, no Estado do Acre (Ränsänen *et al.*, 1995; Gingras *et al.*, 2002). Nos últimos anos, é atribuído um contexto fluviodeltaico para, pelo menos, parte dos depósitos neógenos de superfície na Amazônia brasileira (Vega, 2006; Hovikoski *et al.*, 2008; Nogueira *et al.*, 2013).

Desde o reconhecimento de depósitos nomeados como terciários no final do século XIX, as ocorrências de fósseis animais e vegetais têm sido documentadas na Formação Solimões (Fig.2.5). Notoriedade é dada aos vertebrados, representados por vértebras de peixes, répteis como crocodylomorfos, quelônios e serpentes (Hsiou *et al.*, 2009), fragmentos

de aves (Pereira & Bocquentin, 1989), vários grupos de mamíferos terrestres (roedores, primatas, tatus) e aquáticos e semiaquáticos (capivaras, odontocetos e peixes-bois) (Ranzy, 2000; Campbell *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 1991).

2.3 A Paleoflora Neógena na Amazônia Brasileira

A porção norte da América do Sul comporta a maior floresta tropical do planeta, com grande diversidade de fauna e flora. A evolução dos organismos é alvo de intensa investigação, sendo as proposições sobre o período de implantação da floresta amazônica, inversão de cursos d'água e barreiras geográficas, como altos estruturais, discutidas há décadas.

O registro paleoflorístico Neógeno da porção norte brasileira é realizado desde o século XIX, porém desprovido de investigações detalhadas. Ao longo da bacia de drenagem dos rios Amazonas e Solimões, são registrados restos de plantas, representados por troncos, folhas e sementes em depósitos Miocenos a Quaternários (Hoorn 1994a; 2006; Duarte, 2004; Rossetti & Goés, 2004; Silveira, 2005; Vega, 2006; Campbell *et al.*, 2006, Latrubesse *et al.*, 2007; Pons & De Franceschi, 2007).

Sem dúvida, são os palinomorfos os elementos paleoflorísticos mais intensamente estudados nos últimos trinta anos na Amazônia (Cruz, 1984; Hoorn, 1993; 1994a; 2006; Leite, 1997, 2006; Leite *et al.*, 1997a; Arai, 1997; Silveira, 2005; Silveira & Nogueira, 2007; Latrubesse *et al.*, 2007; Silva-Caminha *et al.*, 2010). A motivação deve-se, principalmente, pela ampla aplicabilidade dessa categoria de microfósseis.

Maury (1937) já mencionava fósseis continentais na Amazônia brasileira, na região do Alto e Médio Amazonas, bem como no Acre, e atribuía um clima similar ao atual. Hoje, é aceita, para o norte da América do Sul, sua inserção na área florística Neotropical (Willis & McElwain, 2002), formada no início do Paleógeno. Essa região não mudou muito em sua composição florística, porém houve deslocamentos nos seus limites, para norte e para o sul (Garcia *et al.*, 2007).

A distribuição da paleoflora Miocena e Pliocena de climas tropicais e subtropicais na América do Sul foi sumarizada por Garcia *et al.* (2007). Aqui serão apresentados exclusivamente os trabalhos da Amazônia brasileira e sua correlação com a paleoflora das bacias subandinas.

2.3.1 Floras Neógenas de Climas Tropical e Subtropical na Amazônia

Registro Paleobotânico

A paleobotânica na Amazônia é ainda pouco estudada. Várias áreas apresentam restos ou vestígios de plantas, mas de poucas localidades têm sido coletadas amostras, para serem devidamente estudadas (Duarte, 2004; Pons & De Franceschi, 2007). Embora tenha aumentado o número de publicações nos últimos anos, pouca atenção é dada aos antigos restos vegetais microfósseis, sendo, quase sempre, apenas mencionados em estudos de cunho bioestratigráfico (Hoorn, 1994a, 2006; Rossetti & Goés, 2004; Campbell *et al.*, 2006; Latrubesse *et al.*, 2007).

Em contraparte, a documentação paleoflorística de microfósseis (troncos, folhas, sementes) já foi realizada em corpos argilosos, pelíticos ou arenoargilosos, na Venezuela, Colômbia, Peru e Bolívia, as quais apresentam similaridades com a paleoflora reconhecida na Amazônia brasileira.

Quanto ao Mioceno, Berry (1936) apresentou a seguinte associação florística na Venezuela: *Entada*, *Ficus*, *Simarouba*, *Heliconia*, *Coussapoa*, *Annona*, entre outros, já atribuindo um clima tropical para o Mioceno. Na Colômbia, no vale do rio Magdalena, em Santander, Berry (1936) registrou os gêneros *Dioscorea*, *Palmophyllum*, *Ficus*, *Coussapoa*, *Annona*, *Buettneria*, *Tapiria*, *Couroupita* e outros, os quais relaciona a estratos miocenos. Ainda na Colômbia, Pons (1969) registrou o gênero *Goupioxylon*, que é endêmico da América Tropical, também em depósitos Miocenos.

De um total de 24 famílias de angiospermas reportadas para rochas miocenas na Amazônia, Duarte (2004) descreveu 17 famílias, para 19 gêneros de níveis fósseis do Mioceno na Formação Pirabas, preservados como impressão, que, como vimos anteriormente, correspondem a um ambiente litorâneo. As famílias registradas pela autora são: Nyctaginaceae (*Pisonia*, *Guatteria*) Lauraceae, Dilleniaceae, Theaceae, Caryocaraceae, Chrysobalanaceae, Euphorbiaceae, Rutaceae, Meliaceae, Sapindaceae, Malvaceae, Myrtaceae, Melastomataceae, Rhizophoraceae, Ebenaceae, Rubiaceae e Rapataceae.

Em rochas Pliocenas do Acre, em Cruzeiro do Sul/Alto Juruá, Sena Madureira e Rio Brasil (Berry, 1935; 1937; Maury, 1937; Duarte, 1970), registraram-se *Coussapoa*, *Persea*, *Sparattanthelium*, *Cassia*, *Machaerium*, *Sapium*, *Vochysia*, *Endlicheria* e *Bignotites*, as quais ainda estão presentes nessa região nos dias de hoje.

Na Bolívia, Berry (1922) apresentou a Tafoflora de Jancocata, representada por Polypodiaceae, Poaceae, Betulaceae, Rosaceae, Mimosaceae, Caesalpiniaceae e Melastomataceae, que sugerem um clima mais úmido que o atual.

Lenhos petrificados e folhas carbonificadas foram relatados no Estado do Amazonas (Canutama, Lábrea, São Paulo de Olivença, entre outros), relacionados, então, à idade Pliocena (Duarte & Japiassú, 1971).

As camadas arenoargilosas de dois afloramentos foram investigadas, localizados na vila Tamshiyaku, região de Atalaya, no Peru. Dois níveis contendo restos lenhos foram retirados das formações Pebas (Mesomioceno) e Amazonas (Plioceno).

Pons & De Franceschi (2007) descreveram 34 amostras de angiospermas, entre elas as formas: *Anacardium* (Anacardiaceae), *Calophyllum* (Clusiaceae), *Buchenavia* e *Terminalia* (Combretaceae), *Hymenolobium* (Fabaceae), Humiriaceae, *Cariniana*, *Eschweilera* e outras indeterminadas (Lecythidaceae), *Guarea* (Meliaceae), *Samanea/Pseudosamanea* (Mimosaceae, Ingeae). As formas atribuídas ao Mesomioceno (Formação Pebas) mostram afinidades com taxas agora ocorrentes nas florestas úmidas.

Para os autores, esses fósseis corresponderiam a uma porção de rebaixada de terra firme, em uma floresta tropical úmida. Mas, de acordo com Jaramillo *et al.* (2010), as características anatômicas dessas famílias deveriam ser avaliadas para distinguir-se os habitats de várzea (marginal) ou terra firme. Os níveis mais abundantes em restos fósseis de natureza vegetal na Amazônia são vinculados a ambientes fluviais e lacustres (Burnham *et al.*, 1992).

Zoneamentos Palinológicos do Norte da América do Sul para o Neógeno da região amazônica

Coube a Germeraad *et al.* (1968) estabelecer o primeiro zoneamento de esporomorfos para a América do Sul, com base na reunião de investigações na Colômbia, Venezuela, Trinidad, Nigéria e Borneo. Esse levantamento serviu de base para os estudos palinológicos desenvolvidos pela Petrobrás S.A., em estudos das bacias marginais da Foz do Amazonas e Amapá.

Muitas novas espécies de esporomorfos foram propostas e, destas, algumas são reconhecidas por aplicabilidade como fósseis-guias, tais como: *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Magnastriatites howardi*, *Grimsdalea magnaclavata*, *Multimarginites vanderhammeni*, *Florschuetzia trilobata*, *F. semilobata*, *F. levipoli*, *F. meridionalis*, *Proteacidites dehaani*, *Pachydermites diderixi*, *Echiperiporites estelae*,

Retistephanocolpites williamsi, *Zonocostites ramonae*, *Echitricolporites mcneillyi*, *Margocolporites vanwijhei*, *Jandufouria seamrogiformis*, *Perisyncolporites pokorny* e *Striasycolpites zwaard*.

Regali *et al.* (1974ab) propuseram zoneamentos palinológico relativos aos depósitos mesocenoicos de áreas emersas e plataforma continental. Nove gêneros foram descritos, sessenta e três novas espécies e obtidas 37 zonas palinológicas, que foram comparadas às zonas de foraminíferos planctônicos, nanofósseis e ostracodes não-marinhos. Duas superzonas foram propostas para o Neógeno: *Echitricolporites muelleri* e *Echitricolporites spinosus*.

A superzona *Echitriteles muelleri* tem topo definido pela extinção de *Echitriteles muelleri* e sua base marcada pela extinção de *Cicatricosisporites dorogensis*. Agrega três zonas, todas vinculadas ao Eomioceno; da mais antiga para a mais nova, têm-se: *Hystrichosphaeridium paraensis*, *Psilatricolporites triangularis* e *Crassoretitriteles vanraadshooveni*.

Os limites da zona *Hystrichosphaeridium paraensis* são: limite superior com extinção de *H. paraensis* e o inferior pelo nível de extinção de *Parvisaccites* ?. A zona *Psilatricolporites triangularis* tem limite superior marcado pela extinção de *P. triangularis* e o inferior pelo nível de extinção de *Hystrichosphaeridium paraensis*. Já a zona *Crassoretitriteles vanraadshooveni* apresenta o topo marcado por extinção de *C. vanraadshooveni* e a base por extinção de *Psilatricolporites triangularis*.

A superzona *Echitricolporites spinosus* tem o topo marcado pelo nível de extinção de *E. spinosus* e a base delimitada pela extinção de *Echitriteles muelleri*. Compreende as zonas: *Grimsdalea magnaclava* e *Retistephanocolpites gracilis*.

A zona *Grimsdalea magnaclava* tem o topo caracterizado pela extinção da própria forma e sua base é marcada por extinção de *Crassoretitriteles vanraadshooveni*. A zona *Retistephanocolpites gracilis* tem topo definido pela extinção de *E. gracilis* e a base pela extinção de *Grimsdalea magnaclavata*.

Outro importante palinozoneamento foi estabelecido por Lorente (1986), que estudou as bacias de Falcon, Maracaibo e Venezuela Oriental, na Venezuela. A autora reconheceu quatro palinozonas para o Mioceno: 1. *Verrutricolporites-cicatricosisporites* (Mioceno Inferior), 2. *Crassoretitriteles - Grimsdalea* (Mioceno Médio), 3. Asteraceae e *Fenestrites longispinosus* (Bacia do Maracaíbo - Mioceno Superior), e, 4. Asteraceae e *Stephocolpites evansii* (bacias de Falcon e Venezuela Oriental - Mioceno Superior). Essas palinozonas são utilizadas na Amazônia, em correlações com áreas limítrofes.

Muller *et al.* (1987) também apresentaram zoneamento palinológico dos esporomorfos distribuídos do Cretáceo ao Recente na Venezuela, Trinidad, Colômbia, Guiana, Suriname e Brasil, com a proposição de dez superzonas (seis relacionadas ao Cretáceo e quatro cenozoicas) e 31 zonas (13 Cretáceas e 18 cenozoicas). As zonas que correspondem ao Neógeno são:

Zona 26 (parte inicial do Mioceno), *Verrucaticolporites rotundiporites* - *Echidiporites barbeitoensis*, uma zona de concorrência, com base no topo da distribuição de *Cicatricosisporites dorogensis* e aumento regular de *Verrutricolporites rotundioporis*, enquanto o topo da zona é marcado pelo aparecimento de *Echitricolporites maristellae*. Formas que ocorrem associadas: *Scabratricolporites planetensi*, *Retitricolpites amapaensis*, *Jandufouria seamrogiformis*, *Bombacacidites brevis* e *Echidiporites barbeitoensis*.

Zona 27 (parte do Eomioceno), *Echitricolporites maristellae* - *Psiladiporites minimus*, tem como base a ocorrência de *Echitricolporites maristellae* e/ou *Psiladiporites minimus*. O topo é marcado pelo desaparecimento de *Echitricolporites maristellae* e base da ocorrência de *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*. Nessa zona, ocorre o aumento na abundância de *Crototricolpites annemariae* e surgimento de *Clavamonocolpites lorentei*.

Zona 28 (Mesomioceno), *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*. Sua base é marcada pelo aparecimento da forma *Crassoretitriletes vanraadshoovenii* e o topo pela base de *Echitricolporites spinosus*. Pode ocorrer *Multimarginites vanderhammeni*, *Psilatricolporites divisus* e *Bombacacidites baculatus*.

Zona 29 (Neomioceno), *Echitricolporites spinosus*, zona de concorrência entre as da base de *Echitricolporites spinosus* e Compositae e *Avicennia*. O topo é marcado pela ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata* e base da ocorrência de *Echitricolporites mcneillyi*. Podem-se encontrar, nessa zona, as formas *Psilaperiporites minimus*, *Bombacacidites ciriloensis*, *Cyatheacidites annulatus* e *Grimsdalea magnaclavata*.

Zona 30 (Plioceno), *Echitricolporites mcneillyi*, zona de concorrência que tem base marcada pelo aparecimento da espécie e topo definido pelo desaparecimento de *Stephanocolpites evansii* e aparecimento de *Alnipollenites verus*. A concorrência de *Fenestrites* spp., *Psilatricolporites caribbiensis*, *Multiareolites formosus*, *Maravenites polyoratus*, *Striasyncolpites zwaardii* caracteriza essa zona.

Por fim, Zona 31 (Pleistoceno), *Alnipollenites verus*, tem base marcada pelo aparecimento da forma, e vem até o recente. Os autores consideram que esse zoneamento pode ser aplicado para todo o norte da América do Sul.

Nesse trabalho, Muller *et al.* (1987) formalizaram três morfogêneros: *Echidiporites* (representado por *E. barbeitoensis*), *Maravenites* (com a forma *M. polyratus*) e *Venezuelites* (tipificada por *V. globoannulatus*). Além disso, propuseram a adição de 15 novas espécies de esporomorfos: *Bombacacidites baculatus*, *B. foveoreticulatus*, *B. soleaformis*, *B. ciriloensis*, *Clavamonocolpites lorentei*, *C. microclavatus*, *Echitricolporites maristellae*, *Gemmamonocolpites macrogemmatus*, *Laevigatosporites catanejensis*, *Proxapertites magnus*, *P. maracaiboensis*, *Psilatricolpites caribbiensis*, *Spinizonocolpites intrarugulatus*, *Stephanocolpites evansii* e *Wilsonipites margocolpatus*.

Hoorn (1993) estudou as associações palinológicas da porção ocidental do Estado do Amazonas, em dois testemunhos de sondagens, nomeados 1AS-4a-AM e 1AS-51-AM, atribuídos à Formação Solimões, que se distribuem do Eomioceno a Meso-Neomioceno. A autora menciona grande similaridade entre os palinomorfos dessa unidade e o zoneamento palinológico estabelecido por Lorente (1986), motivo por que adotou a terminologia desta, introduzindo poucos nomes ao zoneamento do norte da América do Sul.

Cinco zonas palinológicas foram definidas por Hoorn (1993) para o noroeste da Amazônia: 1. zona de acme de *Verrutricolporites* (Mioceno Inferior), 2. zona de acme de *Retitricolporites* (Mioceno Inferior), 3. zona de concorrência de *Psiladiporites-Crototricolpites* (Mioceno Superior a início do Mioceno Médio), 4. zona de intervalo de *Crassoretitriteles* (Mioceno Médio), e, 5. zona de intervalo de *Grimsdalea* (término do Mioceno Médio até o início do Mioceno Superior).

Novas espécies foram encontradas pela autora, como segue: *Psilamonocolpites amazonicus*, *P. nanus*, *Psilatricolpites anconis*, *Retimonocolpites absyae*, *R. maximus*, *Retitricolpites lorentae*, *Retibrevitricolpites yavarensis*, *Bombacacidites muinaneorum*, *Psilatirporites sarmientoii*, *P. corstanjei*, *Psilatricolporites atalayensis*, *P. crassoexinatus*, *P. exiguus*, *P. garzonii*, *P. labiatus*, *P. magniporatus*, *P. obesus*, *P. silvaticus*, *Retitricolporites caputoi*, *R. kaarsii*, *R. leticianus*, *R. milnei*, *R. solimoensis*, *R. ticuneorum*, *Rugutricolporites arcus*, *Psilastephanoporites herngreenii*, *Psilastephanocolporites schneideri*, *Heterocolpites rotundus* e *H. verrucosus*.

Hoorn (1994a) apresentou dados palinoestratigráficos de afloramentos nomeados de Mariñame, Três Ilhas e Santa Isabel, na Colômbia, os quais associa como provável extensão da Bacia do Solimões. Com base na abundância de *Retitricolporites guianensis* e pela associação de *Psiladiporites/Crototricolpites*, foi sugerida uma idade Mioceno Inferior a Mioceno Médio para os afloramentos.

Silva (2004) analisou 14 amostras distribuídas em, aproximados, 132 m de poço 1AS-32-AM e oito afloramentos provenientes do Acre. A autora encontrou, em todo o testemunho investigado e no município de Murici, o biomarcador *Grimsdalea magnaclavata*. Em alguns dos afloramentos investigados, foram encontrados *Echitricolporites spinosus*.

Silveira (2005) desenvolveu estudo palinoestratigráfico em nove afloramentos na porção central da Amazônia, na região de Coari. Foram reconhecidas duas unidades, separadas por superfícies de descontinuidade, e associação palinológica: formações Solimões (Neomioceno-Plioceno) e Içá (Pleistoceno), e os mesmos dados são confirmados por trabalhos mais recentes (Nogueira *et al.*, 2013).

Na Formação Solimões, ocorrem associadas as formas *Echitriolporites spinosus*, *Fenestrites spinosus*, *Perisyncolporites pokorny*, *Echiperiporites akanthos*, *Echitricolporites estelae*, *Monoporites annulatus*, *Mauritiidites franciscoi*, *Psilamonocolpites rinconii*, *Proxapertites tertiaria*, *Crototricolpites anemariae*, *Corsinipollenites annulatus*, *C. oculusnoctis*, *Retitricolporites guianensis*, *Retitricolporites irregularis*, *Verrucatosporites usmensis*, *Laevigatosporites usmensis*, *Verrucatriletes* sp., *Deltodoispora*, *Cyatheacidites annulatus*, *Foveotriletes ornatus*, *Polypodiaceoisporites potonie*, dentre outras. Nessa unidade, ocorrem palinomorfos marinhos retrabalhados do neodevoniano, que chegam a atingir 30% da associação de palinomorfos.

A Formação Içá é separada pela presença de *Alnipollenites verus*, que ocorre associada a *Echitricolpoites spinosus*, *Monoporites annulatus* e, em frequência, a *Mauritiidites franciscoi* e *Perisyncolporites pokorny*. Ocorre também um grande número de *Verrucatosporites usmensis*, *Verrucatriletes* sp., *Deltodoispora* e *Monoporites annulatus*.

Leite (2006) desenvolveu investigação palinológica em testemunhos de sondagem, correspondente à Formação Solimões, na porção ocidental do Estado do Amazonas. A autora encontrou idade Eomiocena a Eopliocena e registrou novas espécies, como: *Fenestrites garciae*, *Inaperturopollenites microechinatus*, *Inaperturopollenites elizabeti*, *Inaperturopollenites solimoensis*, *Polyadopollenites marileae*, *Psilaperiporites elizabeti*, *Psilatricolporites hoornii* e *Retitricolporites toigoi*.

As quatro biozonas reconhecidas pela autora, que apresentam equivalência às de Lorente (1986), com ligeiras diferenças, são: 1) Zona *Pisladiporites* (Mioceno Inferior-Mioceno Médio). Essa zona é definida pela presença de *Echitricolporites maristellae*, *Crototricolpites annemariae* e *Multimarginites vanderhammenii*. É registrada a presença de *Psilastephanoporites tesseroporus*, o que, de acordo com Regali *et al.* (1974ab), confirma

essa idade. 2) Zona de intervalo de *Crassoretitriletes* (Mioceno Médio). É definida pela ocorrência de *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*. 3) Zona de intervalo de Asteracea (Mioceno Superior). Definida pela presença de *Echitricolporites spinosus* e *Fenestrites spinosus*. No zoneamento da autora, a forma *Grimsdalea magnaclavata* tem presença posterior à primeira ocorrência de *Fenestrites spinosus*. 4) Subzona de intervalo *Psilatricolporites caribbiensis* (Mioceno Superior-Plioceno). É definida pela presença de *Psilatricolporites caribbiensis*. *Stephanocolpites evansii* não é documentada nesse zoneamento.

Silva-Caminha *et al.* (2010) realizaram o levantamento de dois testemunhos de sondagem provenientes da porção oeste do Estado do Amazonas, um deles próximo a um dos testemunhos investigados por Hoorn (1993). Os autores definiram três zonas bioestratigráficas, que nomearam de A, B e C, com similaridades aos esporomorfos encontrados por Lorente (1986).

A Zona A é definida pela primeira ocorrência de *Cichoreacidites longispinosus* e *Ladakhpollenites caribbiensis* e ausência de *Crototricolpites finitus*, *Clavainapertuites microclavatus* e *Bombacacidites fossulatus*. A zona B é caracterizada pela ocorrência de *Crototricolpites microclavatus*, *Bombacacidites fossulatus*, *Rubipollis mulleri* e *Psilabrevitricolpites hoornii*. Já a zona C caracteriza-se pela primeira ocorrência das formas *Echiperiporites intectatus*, *Parsonisidites brenacii*, *Striasyncolporites anastomosus* e *Ladakhpollenites floratus*.

Das 109 espécies descritas, 51 são novas, entre elas: *Camarozonosporites crassus*, *Cingulatisporites laevigatus*, *C. rugulatus*, *Echinatisporites circularis*, *Hydrosporites minor*, *Polypodiaceoisporites amazonensis*, *Polypodiisporites scabraproximatus*, *Pteridaceoisporites gemmatus*, *Retitriletes altimuratus*, *Arecipites perfectus*, *Bombacacidites muinaneorum*, *B. simpliciriloensis*, *Byttneripollis ruetae*, *Cichoreacidites longispinosus*, *Cistacearumpollenites rotundiporus*, *Corsinipollenites collaris*, *C. scabratus* e *Crotonoidaepollenites reticulatus*.

Esses zoneamentos propostos encontram-se sintetizados na Figura 2.6.

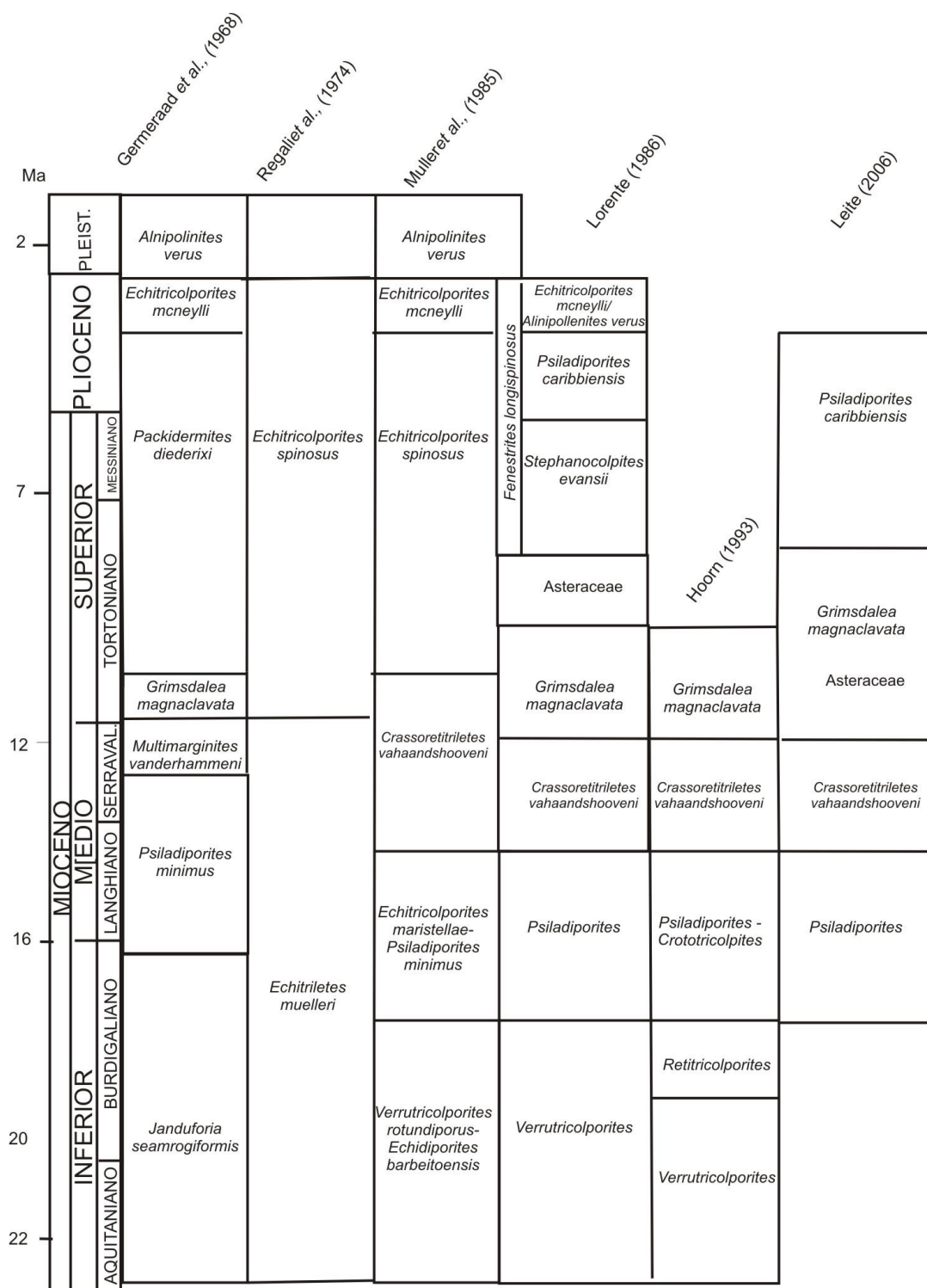


Figura 2.6. Correlação dos zoneamentos propostos para a Amazônia e outras áreas da América do Sul (modificado de Jaramillo *et al.*, 2010).

2.3.2 Cenário da Amazônia no Neógeno

A análise integrada da reconstrução palinoflorística na Amazônia brasileira registra significativas diferenças em sua composição e reflete distintos contextos paleambientais ao longo do Neógeno (Cruz, 1984; Hoorn, 1993, 1994a; Leite, 1997, 2004, 2006; Leite *et al.*, 1997; Silva, 2004; Silveira, 2005; Silva-Caminha *et al.*, 2010), apresentado a seguir.

A história natural da Amazônia mostra-se complexa e apresenta notáveis modificações ao longo do Neógeno. A paleogeografia e a climatologia da região recebem principal ênfase nos levantamentos paleontológicos e geológicos crescentes nos últimos anos, que acham representados na distribuição de organismos de compilações recentes (Campbell *et al.*, 2006; Wesselingh & Ramos, 2010; Hoorn *et al.*, 2010ab; Latrubesse *et al.*, 2010). A seguir, são apresentados os resultados recentes sobre o cenário da Amazônia, com base na contextualização geológica e paleontológica realizada para o Neógeno.

Fisiografia

O estabelecimento da sucessiva mudança fisiográfica da região amazônica durante o Neógeno é apresentado há décadas (Potter, 1997; Latrubesse *et al.*, 1997; Hoorn, 1994b; Rossetti *et al.*, 2005; Hoorn *et al.*, 2010b; Latrubesse *et al.*, 2010), compreendendo, em particular, as modificações impostas na rede de drenagem como reflexo da neotectônica atuante. Dados geológicos e paleontológicos de diversas categorias de organismos são integrados em novos levantamentos, apresentando um modelo considerado mais apropriado para a sucessão paleofisiográfica da Amazônia (Hoorn *et al.*, 2010a).

Hoorn *et al.* (2010a) mostram que, do intervalo Aquitaniano ao início do Tortoniano, existia uma forte influência do Alto de Purus na porção central da Amazônia, que individualizaria a rede de drenagem em sentidos opostos. Além disso, havia incursão do mar advindo da região caribenha, formando um grande mar interno, que se estendia em grandes porções da Amazônia ocidental, nomeado de “Sistema Pebas”, com maior área quando comparado à entrada de mar Pirabas, na região Bragantina, porção extremo oriental da Amazônia (Figura 2.7 A). A cadeia andina ainda não estava estabelecida completamente, sendo esparsa na porção noroeste e sul do paleo “Sistema Pebas”.

O levantamento de Hoorn *et al.* (2010a) difere do desenvolvido por Hoorn (1995), no qual se salientava que as direções de paleocorrentes indicavam que assembleia de minerais pesados eram provenientes, na porção oeste da Bacia do Solimões, do escudo das Guianas, e que teria mudado o padrão de drenagem somente no Serravaliano.

Hoorn *et al.* (2010a) mostram que, no Tortoniano, o alto estrutural deixa de delimitar a rede de drenagem, que passa o curso para o Atlântico, dando-se início à constituição do Delta do Amazonas. O exclusivo contexto continental é marcado em grandes porções da bacia amazônica, com a implantação do então nomeado sistema Acre, enquanto a cadeia andina aumenta sua extensão (Figura 2.7 B).

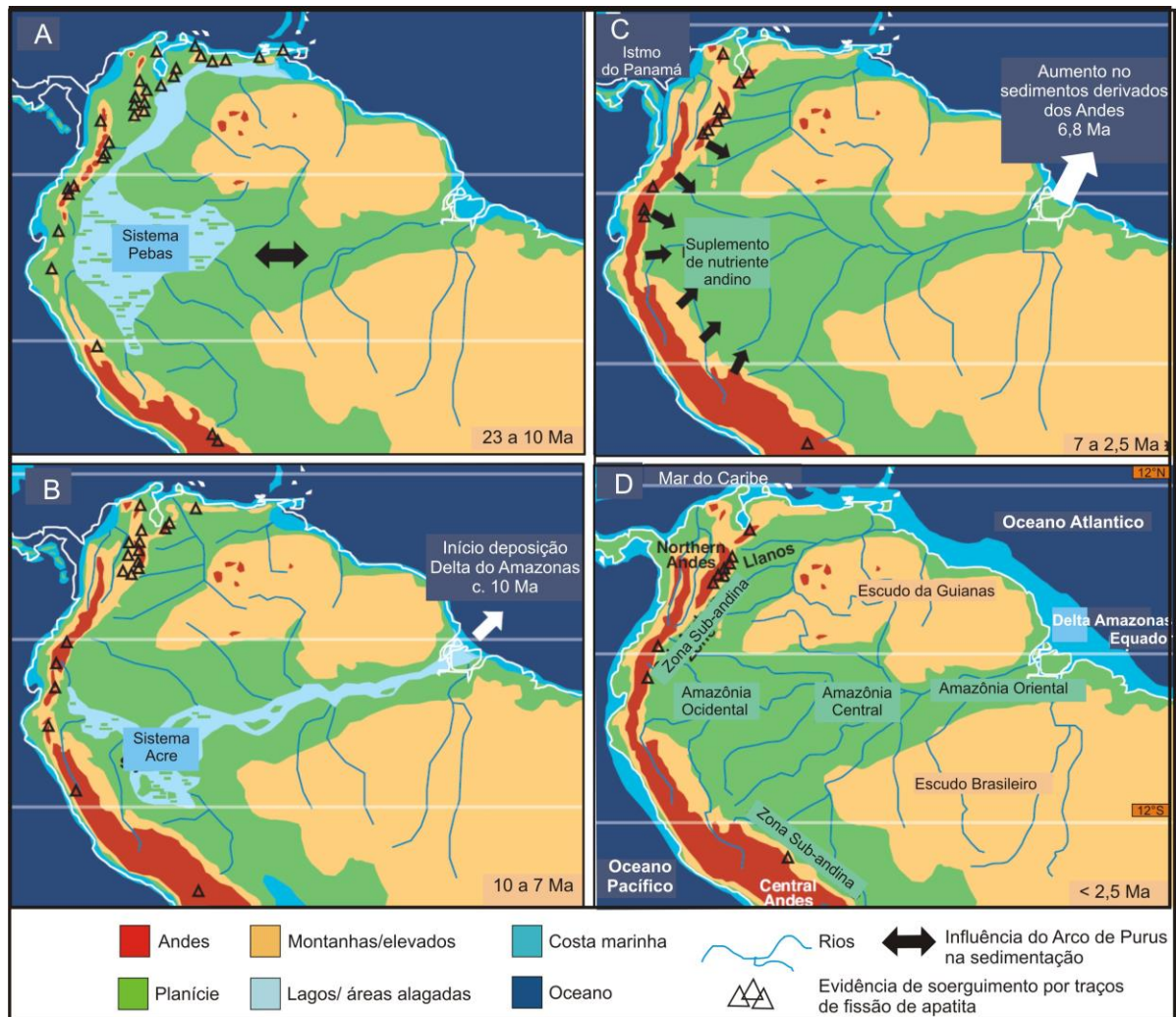


Figura 2.7. Mapas paleogeográficos da Amazônia mostrando os principais aspectos fisiográficos ao longo do Neógeno (modificado de Hoorn *et al.*, 2010a).

De acordo com esses autores, a história da erosão dos Andes pode ser identificada pela mudança no registro sedimentar nas bacias subandinas, intracratônicas e pericratônicas. Os autores afirmam que a primeira evidência da mudança da composição no registro sedimentar na Amazônia é reportada na transição Burdigaliano-Langhiano, na Bacia do Solimões. Nos sedimentos do Aquitaniano a Burdigaliano, é identificada uma origem cratônica, caracterizada por minerais ultramáficos. Já na passagem Burdigaliano-Langhiano,

a composição de minerais pesados mudou para uma assembleia de minerais moderadamente estáveis, com parentesco às rochas metamorfozadas na fácies xisto verde, tipicamente andina.

Os autores justificam que a determinação da idade absoluta dessa mudança ainda não foi devidamente apontada, por apresentar poucas fácies arenosas no limite Burdigaliano-Langhiano que possam apresentar minerais pesados nessas sequências sedimentares. As assembleias palinológicas estudadas por Hoorn (1993; 1994a) também apontam para mudanças na composição da flora na passagem do Burdigaliano-Langhiano, como será apresentado adiante.

Para Hoorn *et al.* (2010a), o pico do soerguimento andino foi atingido ao término do Messiniano a Gelasino (Figura 2.7 C), com aumento no suplemento de sedimentos andinos e consequente estabelecimento da rede de drenagem do moderno Sistema Amazonas, que promoveu o aumento no volume de sedimentos no delta amazônico (Hoorn, 2006; Figueiredo *et al.*, 2009; Hoorn *et al.*, 2010 a, b; Latrubesse *et al.*, 2010).

Silva-Caminha *et al.* (2010) e Latrubesse *et al.* (2010) admitem a possibilidade de o arco de Iquitos ter controlado a sedimentação no Neomioceno, posto que distintas idades relativas são verificadas nos lados opostos do arco.

Vegetação

O levantamento integrado da palinoflora registrada no Neógeno Amazônico, em sua maioria, constitui-se de formas que se estendem até os dias atuais e que fornecem um estabelecimento de afinidades botânicas, paleoecológicas e climáticas mais confiáveis.

As mudanças fisiográficas, que se sucederam ao longo do Neógeno, refletiram-se na paleoflora da Amazônia brasileira. Dentre os modelos paleoambientais apresentados, dois deles apresentam significativas similaridades na associação de palinomorfos, um voltado à análise da porção extremo ocidental (Hoorn, 1993, 1994a) e outra à porção extremo oriental (Leite, 1997; Leite *et al.*, 1997a, b) da Amazônia. Os últimos trabalhos envolvendo o reconhecimento da palinoflora se acham dispostos na Figura 2.8.

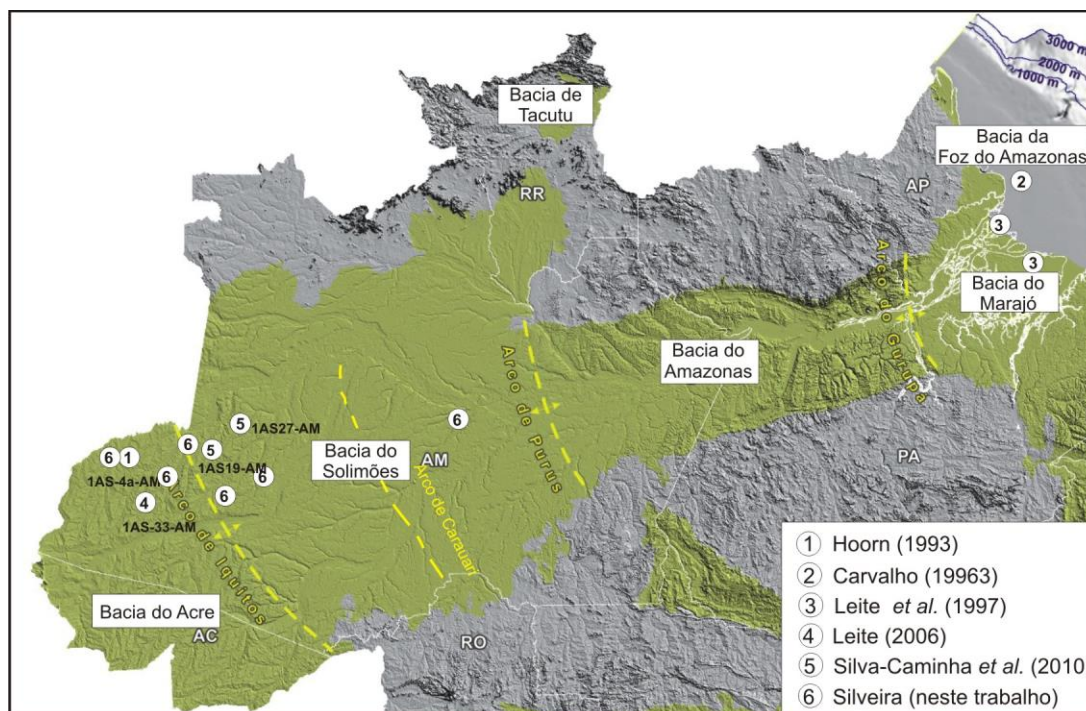


Figura 2.8. Mapa de localização dos levantamentos palinológicos desenvolvidos nas bacias intracratônicas e rifte da região norte brasileira (modificado de Milani *et al.*, 2007).

Dentre os biozoneamentos palinológicos apresentados para Amazônia brasileira com maior representação da sucessão evolutiva da vegetação, destaca-se o de Hoorn (1993), que alia seu levantamento a dados sedimentológicos. Cinco biozonas foram identificadas, refletindo assembleias ecológicas situadas ao longo do Mioceno, sendo elas:

1. Zona A - *Verrutricolporites* (Aquitaniense a Burdigaliano Inferior), definida pela abundância de *Verrutricolporites rotundisporus*. No topo da zona, há ocorrência do decréscimo dessa espécie. A base do diagrama é marcada pelos picos na ocorrência de *Mauritiidites franciscoi*, *Psilamonocolpites amazonicus*, *P. nanus*, *Zonocostites ramonae*, *Psilastephanocolpites schneideri* e *Deltoidospora adriennis*, que decrescem na metade da zona, quando é observado aumento na abundância de *Heterocolpites incomptus*, *H. verrucosus*, *Verrucotricolporites rotundisporus*, *Retitricolporites guianensis*, *Magnastriatites grandiosus*, *Psilatricolporites* cf. *varius*, *P. operculatus* e *Echiperiporites akanthos*.
2. Zona B - *Retitricolporites* (Burdigaliano Inferior a Burdigaliano Superior), marcada pela abundância de *Retitricolporites guianensis*. A base dessa zona é definida pelo rápido decréscimo de *Verrutricolporites rotundisporus*. Nessa zona, aparecem pela primeira vez as formas *Heterocolpites rotundus*, *Bombacacidites bellus*, *Psilatricolporites cyamus*, *Retitricolporites ellipticus*, *R. muinaneorum*, *R.*

crassicostatus e *Retibrevitricolpites yavarensis*. O topo da zona é caracterizado pelo aparecimento da associação entre *Psiladiporites-Crototricolpites*. Evidentes picos de *Heterocolpites incomptus* e *Magnastriatites grandiosus* são observados. *Mauritiidites franciscoi* diminui para o topo dessa zona.

3. Zona C - *Psiladiporites-Crototricolpites* (Burdigaliano Superior a início do Langhiano Superior), caracterizada pela concorrência dessas espécies a partir da base da zona, associadas à primeira ocorrência de *Proxapertites tertiaria* e *Retimonocolpites absyae* e maior decréscimo de *Retitricolporites guianensis*. Ao longo da zona, ocorrem pela primeira vez *Retitricolporites leticianus*, *Psilastephanoporites herngreenii*, *Psilatricolporites magniporatus*, *Echiperiporites* spp., *Echitricolporites maristellae*, *Ephedripites renzonii*, *Echitriletes* cf. *muelleri*, *Retitriporites sarmientoi*, *Polypodiaceoisporites potonieii*, *Podocarpidites* sp. e *Psilaperiporites minimus*. O topo da zona é marcado pela primeira ocorrência de *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*. Ocorrem flutuações acentuadas nas abundâncias de *Mauritiidites franciscoi*, *Psilamonocolpites nanus*, *Psilatricolporites* cf. *varius*, *P. operculatus*, *Zonocostites ramonae* e *Retitricolpites simplex*. A curva de palinórfos marinhos assinala um pico em 218,2 m de profundidade, provavelmente representados por acritarcos retrabalhados. Formas, como *Verrucatosporites usmensis* e *Psilamonoletes tibui* variam de 15 a 50% nos diagramas acumulativos.

Essa zona é correspondente aos afloramentos investigados na região Bragantina por Leite (1997) e Leite *et al.* (1997a, b), correspondentes à Formação Pirabas. Em todas as amostras, a forma mais abundante foi *Rhizophora*, representada por *Zonocostites ramonae*, que ultrapassa 80% de representação. Dentre os elementos de flora arbórea de mangue, ocorrem *Psilatricolporites crassus*, *Retitricolporites* sp. e *Verrutricolporites rodundiporus*, associados a *Verrucatosporites* spp., *Mauritiidites franciscoi* e *Retitricolporites irregularis*. Foi constatada certa homogeneidade no ambiente deposicional das amostras estudadas, devido aos altos e constantes valores percentuais de *Rhizophora*.

4. Zona D - *Crassoretitriletes* (Langhiano Superior a Serravaliano Superior), é zona de intervalo da espécie *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*. Formas como *Echitricolporites spinosus*, *Retitricolporites ticuneorum*, *Bombacacidites baculatus* e *Ilexpollenites* sp. também têm primeira ocorrência nessa zona. O topo da zona é

marcado pelo aparecimento de *Grimsdalea magnaclavata*. *Monoporites annulatus* tem aumento significativo, com características flutuações, nas quais se nota que a diminuição na abundância dessa forma é acompanhada do aumento da abundância de *Rugutricolporites arcus*.

5. Zona E - *Grimsdalea* (Serravaliano Superior a Tortoniano Médio), a base dessa zona é marcada pela ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata* e o topo é indefinido, marcado pelo limite do testemunho. Ao longo da zona, tem-se o aparecimento de formas como *Retitricolpites lorentae* e, posteriormente, *Bombacacidites bellus*. A zona é dominada, em sua base, por *Retitricolporites irregularis*, *Magnastriatites grandiosus* e *Azolla* sp, com flutuações de *Zonocostites ramonae* e *Deltoidospora adriennis*, bem como relativa abundância de *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*. Nota-se um decréscimo desses elementos na segunda metade da zona, acompanhado pelo acréscimo de *Grimsdalea magnaclavata*. *Mauritiidites franciscoi* apresenta baixos valores de abundância comparado à zona que o precede.

Hoorn (1993) listou por afinidade botânica os palinórfos com significado ecológico, com base nos levantamentos de Lindeman (1953), Muller (1959), Germeraad *et al.* (1968) e Lorente (1986), que são:

1. *Mauritia*: o gênero é uma palmeira comum em pântanos, restingas, planície fluvial e solos pobremente drenados;
2. Outras palmeiras: o grupo é composto por *Psilamonocolpites amazonicus*, *P. nanus*, *P. rinconii* e *Retimonocolpites maximus*. Essas palmeiras apresentam afinidade botânica, assim como paleoambiental, incerta;
3. *Rhizophora*: o gênero é indicador de vegetação tropical costeira, marinha ou estuária. Os fósseis que constituem esse grupo são: *Zonocostites ramonae*, *Z. duquei* e *Psilastephanocolporites scneideri*;
4. *Acrostichum*: estão aqui as samambaias associadas ao mangue, sendo *Deltoidospora adriennis* o gênero representante. Apesar de Hoorn (1993) relacionar diretamente esse gênero com os elementos de mangue, *Deltoidospora adriennis* apresenta-se em grande número em outros ambientes relacionados a planícies fluviais, estuários e restingas;
5. *Gramineae*: gramíneas são típicas de vegetação aberta e ocorrem em diversos ambientes, úmidos ou secos. O fóssil-referência do grupo é *Monoporites annulatus*.

Durante o Oligoceno e, particularmente, o Mioceno Superior (Muller, 1981; Traverse, 1988) foi mais abundante;

6. *Podocarpus*: é um gênero de áreas de montanhas. O grupo inclui *Podocarpidites*, com origem provavelmente andina;

7. Elementos de planície fluvial: é um grupo formado por diversos elementos associados aos bancos de rios. As seguintes espécies são incluídas no grupo: *Retitricolporites irregularis* (*Amanoa* sp.), *Striaticolpites catatumbus* (*Crudia* sp.) e *Bombacacidites baculatus* (*Pachira aquatica*);

8. Elementos aquáticos: grupo composto de fetos e algas comuns em ambientes aquáticos de água doce ou de baixa salinidade, em planícies fluviais ou costeiras. Alguns dos representantes são: *Magnastriatites grandiosus*, *Azolla* sp. e *Botryococcus* sp.

9. Palinomorfos marinhos: o grupo consiste de microforaminíferos, acritarcos e dinoflagelados. São comuns em estuários e em ambiente aquático salino, mas podem ocupar ambientes de água doce.

De acordo com Hoorn (1993), o Aquitaniano apresentava uma paleoflora composta por mais de 30% de palmeiras, atingindo as samambaias como *Acrostichum* até 50% de representação. A vegetação corresponde a plantas de porte arbóreo e arbustivo, que se distribuía em uma floresta de mangue, ou mesmo em regiões de borda interna, na transição mangue-mata, onde a vegetação arbórea é menos densa.

No Burdigaliano, a vegetação passa a ter maior diversidade, representada por plantas de porte arbóreo, arbustivo e herbáceo, tendo seus espórmorfos acumulados em uma planície aluvial. Segue a vegetação representada por palmeiras, acrescida em abundância tanto por formas biomarcadoras como *Verrutricolporites rotundiporus* e *Retitricolporites guianensis*, quanto por *Mauritia*. Essas palmeiras, junto com elementos aluviais e elementos aquáticos, chegaram a atingir até 45% de representação nesse intervalo, apresentando as gramíneas em baixa representação. Na metade do Burdigaliano, samambaias diminuíram numericamente, mas aumentam no decorrer do mesmo intervalo de tempo, principalmente na Zona C. Nesse intervalo, Hoorn (1993) identificou palinomorfos marinhos retrabalhados.

A planície fluvial parece ficar restrita à Bacia do Solimões, uma vez que Leite (1997) e Leite *et al.* (1997ab) assinalam que, no Burdigaliano, o domínio é de elementos de mangue, que seguem dominantes até o Serravaliano. Os autores salientaram que, apesar de estudos sobre a sedimentação em mangues atuais provarem haver uma suprarrepresentação

de *Rhizophora* no espectro polínico devido à sua grande produção de pólen (Caratini *et al.*, 1973; Thanikaimoni, 1986), é evidente que a deposição deu-se em planície costeira, ocupada por manguezais, na região de Bragantina.

Em Hoorn (1993), no intervalo que varia de Langhiano Superior a Serravaliano Superior, constata-se a permanência de uma vegetação arbórea, arbustiva, herbácea e gramíneas, com oscilações a uma vegetação pantanosa, subordinadamente, marcada pela presença de *Acrostichum*. Apresentam-se seguidas oscilações entre *Mauritia*, apresentando inversão em abundância em relação a outras palmeiras, tal como ocorre em todo o Mioceno. A característica marcante é a ocorrência de picos de abundância de leguminosas, como *Crassoretiriletes vahaansdshoovenii*, que chega a atingir 40% de representação. Estas estariam relacionadas, de acordo com a literatura, à planície aluvial. Começam a se tornar comum a ocorrência de gramíneas. A ausência de *Rhizophora* no Langhiano Superior permite admitir que houve predomínio de uma planície aluvial.

Do Serravaliano Superior a Tortoniano Médio, a vegetação apresenta variação de porte arbóreo, arbustivo e gramíneas, sendo que as palmeiras seguem como os elementos paleoflorísticos mais abundantes, representados então pela espécie *Grimsdalea magnaclavata*, que divide espaço com *Crassoretiriletes vahaansdshoovenii*, em um ambiente caracterizado por Hoorn (1993) como planície costeira, já que elementos de mangue como *Rhizophora* e *Acrostichum* são numerosos.

Para Leite (1997) e Leite *et al.* (1997ab), a porção oriental da Amazônia corresponde a um mangue que cedeu gradualmente lugar a uma vegetação de restinga. No continente, predominariam pântanos, florestas inundáveis das planícies fluviais e florestas de terra firme, coincidente à porção ocidental da Amazônia, estudada por Hoorn (1993).

Dessa maneira, Hoorn (1993) identificou, pelo menos, quatro fases de acumulação de elementos palinoflorísticos de planície costeira, alternados à planície aluvial ao longo do Mioceno.

O Messiniano é assinalado nas porções central e oeste da Amazônia brasileira, com exclusivo aporte de elementos continentais, representantes de uma paleoflora composta por elementos de planície de inundação, elementos aquáticos e gramíneas, permanecendo, na paisagem, vegetais de porte arbóreo, arbustivo e herbáceo (Silva, 2004; Silveira, 2005; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010). Mais especificamente, ocorre permanência de diversidade de palmeiras, que diminuem em abundância em relação aos intervalos anteriores, mas com manutenção das inversões nos picos de abundância de *Mauritia*, como

ocorre em todo o Mioceno. As gramíneas passam a ser mais numerosas a partir desse intervalo, na Amazônia brasileira, dividindo espaço com uma vegetação de planície fluvial.

No Plioceno, segue a representação de esporomorfos ricos em espécimes, porém pobres em espécies, o que, segundo Lorente (1986), seria característico de planícies aluviais.

CAPÍTULO 3 RESULTADOS

O levantamento estratigráfico realizado nas áreas estudadas, regiões de Alto Solimões e Coari, a partir das descrições de fácies e interpretação paleoambiental, constituem resultados, mas serão apresentados apenas no Capítulo 4, por estarem mais próximos à integração dos dados.

Neste Capítulo 3 serão apresentados os manuscritos submetidos à revistas científicas, relacionadas abaixo, cujas cartas de recebimento compõem os anexos 1, 2 e 3.

Cap. 3.1. Silveira, R.R. & Souza, P.A. Palinologia (Grãos de Pólen de Angiospermas) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), das Regiões de Coari e Alto Solimões, Amazonas - Revista Brasileira de Paleontologia.

Cap. 3.2. Silveira, R.R. & Souza, P.A. Palinologia (Esporos de Fungos e Pteridófitas, Grãos de Pólen de Gimnospermas, Cistos de Algas e Escolecodonte) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), das Regiões de Coari e Alto Solimões, Amazonas – Pesquisas em Geociências.

Cap. 3.3. Silveira, R.R. & Souza, P.A. Palinoestratigrafia da Formação Solimões na Região do Alto Solimões (Atalaia do Norte e Tabatinga), Amazonas, Brasil.

Serão também apresentados os trabalhos publicados, correspondente ao anexo 4 e 5, que tratam de apresentação de dados relativos a região de Coari, que abordam temas como: mudança da paleovegetação e estratigrafia, bem como apresenta a sistemática de esporos de fungos.

Capítulo 3. 1

Artigo 1 . Palinologia (Grãos de Pólen de Angiospermas) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), das Regiões de Coari e Alto Solimões, Amazonas

PALINOLOGIA (GRÃOS DE PÓLEN DE ANGIOSPERMAS) DAS FORMAÇÕES SOLIMÕES E IÇÁ (BACIA DO SOLIMÕES), DAS REGIÕES DE COARI E ALTO SOLIMÕES, AMAZONAS

ROSEMERY ROCHA DA SILVEIRA

Departamento de Geologia, Instituto de Ciências Exatas, UFAM, Av. General Rodrigo Jordão Ramos, 3000,
69077-000, Manaus, AM, Brasil.

Programa de Pós-Graduação em Geociências, Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de
Geociências, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

rrosilveira@ufam.edu.br

PAULO ALVES DE SOUZA

Programa de Pós-Graduação em Geociências, Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de
Geociências, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

paulo.alves.souza@ufrgs.br

ABSTRACT - PALYNOLOGY (ANGIOSPERM POLLEN GRAINS) FROM SOLIMÕES AND IÇÁ FORMATIONS (SOLIMÕES BASIN), IN COARI AND ALTO SOLIMÕES REGIONS, AMAZONAS. A total of 93 samples collected at 12 outcrops of Solimões and Içá formations, in the region of Coari (5 outcrops) and Alto Solimões (7 outcrops), Amazonas State, was conducted for pollen analysis. The palynomorphs recovered comprise sporomorphs (representatives of fungi, ferns, gymnosperms and angiosperms), algae cysts and scolecodont. This paper presents the list (including descriptions when needed) and photomicrographs of 48 Angiosperm pollen grains. The composition of palynofloras in both areas presents contrasts; that one from Alto Solimões shows less diversity, but higher abundance in comparison with the Coari. Among the Angiosperm pollen grains, *Bombacacidites ciriloensis*, *Grimsdalea magnaclavata* and *Perforicolpites digitatus* are more abundant in certain levels of the Alto Solimões region, occurring in all outcrops. In Coari, *Monoporites annulatus*, *Mauritiidites franciscoi*, *Perisyncolporites pokorny* and *Echiperiporites akanthos* are well

represented. In general, the specimens are well preserved, rarely presenting corrosion or breaking, resulting in an exceptional photomicrographic record.

Key words: angiosperm, palynotaxonomy, Neogene, Solimões Formation, Içá Formation.

RESUMO - Um total de 93 amostras de 12 afloramentos das formações Solimões e Içá, na região de Coari (5 afloramentos) e Alto Solimões (7 afloramentos), no estado do Amazonas, foi coletado para análise palinológica. Os palinomorfos recuperados compreendem esporomorfos (representantes de fungos, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas), cistos de algas e escolecodonte. Este trabalho apresenta a listagem (incluindo descrições quando necessárias) e fotomicrografias das 48 espécies de grãos de pólen de angiospermas. A composição da palinoflora em ambas as áreas apresenta contrastes, sendo aquela de Alto Solimões a de menor diversidade, mas com maior abundância, em comparação com a de Coari. Dentre os grãos de pólen de angiospermas identificados, *Bombacacidites ciriloensis*, *Grimsdalea magnaclavata* e *Perforitricolpites digitatus* são mais numerosos em determinadas amostras da região do Alto Solimões, ocorrendo em todos os afloramentos. Na região de Coari ocorre maior representação de *Monoporites annulatus*, *Mauritiidites franciscoi*, *Perisyncolporites pokorny* e *Echiperiporites akanthos*. De forma geral, os espécimes apresentam boa conservação, com raros elementos quebrados ou corroídos, resultando em um registro fotomicrográfico excepcional.

Palavras-chave: angiospermas, palinotaxonomia, Neogeno, Formação Solimões, Formação Içá.

INTRODUÇÃO

O conhecimento palinológico dos depósitos neogenos a pré-holocenos da América do Sul está em fase de franco aprimoramento. Embora os estudos tenham sido iniciados a partir de meados do século XX (Germeraad *et al.*, 1968; Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a,b; Cruz, 1984; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987), foi somente nas últimas décadas que um número considerável de trabalhos foi publicado, revelando associações palinológicas diversificadas,

cuja composição e padrões quantitativos tem contribuído de forma significativa na resolução de problemas bioestratigráficos, interpretações paleoambientais e paleoecológicas.

No Brasil, as contribuições mais numerosas sobre a palinoflora são oriundas das bacias do Rift Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB), com representação nas bacias de São Paulo (Lima *et al.*, 1991; Yamamoto, 1995; Bento-dos-Santos, 2005; Bento-dos-Santos 2006 a,b; Garcia *et al.*, 2007; D. Santos *et al.*, 2010; R. Santos *et al.*, 2012), Bonfim (Lima & Dino, 1984), Itaboraí (Lima & Cunha, 1986), Resende (Lima & Amador, 1985; Lima & Melo, 1994), Tanque (Garcia *et al.*, 2008), Gandarela e Fonseca (Lima & Salard-Cheboldaeff, 1981; Maizatto, 2001).

Estudos sobre as paleofloras neogenas e pleistocenas do norte da América do Sul são, via de regra, baseados em informações palinológicas (Germeraad *et al.*, 1968; Cruz, 1984; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987; Hoorn, 1993, 1994a,b; Carvalho, 1996; Leite *et al.*, 1997a,b, 2006; Silveira, 2005; Silva-Caminha *et al.*, 2010; Nogueira *et al.*, 2013), onde são apresentados contrastes na composição da vegetação.

Os depósitos meso-neomiocenos da porção oeste do estado Amazonas foram interpretados em um contexto paleoambiental continental, com influência marinha episódica (Hoorn, 1993; Leite, 2006; Silveira & Souza, submetido a), o que é contestado por levantamento palinológico mais recente para o Neomioceno por Silva-Caminha *et al.* (2010), que afirmam que durante este intervalo de tempo não houve registro de influência marinha. Depósitos neomiocenos-pleiocenos (Cruz, 1984; Silveira, 2005; Silveira & Nogueira, 2007; Silva-Caminha *et al.*, 2010; Nogueira *et al.*, 2013) e do Pleistoceno (Silveira, 2005; Nogueira *et al.*, 2013) da Amazônia ocidental e central, na Bacia do Solimões, foram mais bem estudados apenas nos últimos anos, revelando palinomorfos exclusivamente continentais.

Neste trabalho são apresentados os grãos de pólenes de angiospermas recuperados em seções da região de Coari e Alto Solimões, contribuindo para o entendimento da diversidade

da flora entre o Mesomioceno e o Pleistoceno ali registradas. Os demais palinomorfos (esporos de fungos, de pteridófitas, grãos de pólen de gimnospermas, algas e escolecodonte) bem como o significado bioestratigráfico e paleoecológico, constituem contribuições subsequentes (Silveira & Souza, submetido b).

CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Solimões abrange uma área de aproximadamente 440.000 km², totalmente compreendida no estado do Amazonas, e é subdividida pelo Arco de Carauari nas sub-bacias Juruá, a leste, e Jandiatuba, a oeste. Apresenta limite ao norte com o Escudo das Guianas, a sul com o Escudo Brasileiro; a oeste o Arco de Iquitos a separa da Bacia do Acre e demais bacias andinas; a leste é separada da Bacia do Amazonas pelo Arco de Purus (Caputo, 1984; Eiras *et. al.*, 1994; Wanderley Filho *et al.*, 2007) (Fig. 1A).

A Formação Solimões está inserida na última sequência deposicional da bacia, correspondente ao Grupo Javari, que compreende rochas do Cretáceo Superior (Formação Alter do Chão). Esta última unidade é separada por discordância erosiva da sobrejacente Formação Solimões, do Mioceno-Plioceno. Terraços fluviais quaternários mais jovens recobrem localmente as unidades neógenas (Caputo, 1984; Eiras *et. al.*, 1994; Wanderley Filho *et al.*, 2007).

A idade da Formação Solimões, estabelecida a partir de estudos palinológicos, foi primeiramente proposta por Daemon & Contreiras (1971), que posicionaram a unidade entre o Paleoceno e o Pleistoceno. Cruz (1984) admitiu, para a unidade na porção central da Amazônia, uma idade entre Eomioceno ao Plioceno. As análises palinológicas de Hoorn (1993) revelaram conjuntos palinológicos do Eomioceno ao limite Meso-Neomioceno, que é vislumbrado em trabalhos de superfície, onde é identificado uma associação microfóssil

relacionada à passagem Serravaliano-Tortoniano (Silveira & Souza, submetido a). Trabalhos mais recentes desenvolvidos nas porções ocidental e central da Amazônia brasileira (Silveira, 2005; Leite, 2006; Silveira & Nogueira, 2007; Silva-Caminha *et al.*, 2010; Nogueira *et al.*, 2013) apontam idades compatíveis àquela estabelecida por Cruz (1984).

Melo & Villas Boas (1993) adotaram a denominação de Maia *et al.* (1977) para a Formação Içá, que corresponde à cobertura quaternária, constituída de arenitos amarelo-avermelhados, finos a conglomeráticos, friáveis, tipicamente continentais, que se estendem por grande parte da área do Alto Rio Negro, e que na região de Coari tem sua idade representada por associação palinológica correspondente ao Pleistoceno (Nogueira *et al.*, 2013).

MATERIAIS E MÉTODOS

A amostragem é advinda de cinco afloramentos designados P2, P9, P11, P12 e P13, localizados às margens do Rio Solimões (Figura 1B), da região de Coari, bem como sete afloramentos, nomeados de P1, P2, P4, P5, P6, P7 e P8, às margens dos rios Javari e Solimões, nomeados aqui de região do Alto Solimões, correspondentes às áreas adjacentes as cidades de Atalaia do Norte e Tabatinga, no estado do Amazonas (Figura 1C). As amostras foram coletadas durante o período de vazante, entre setembro e outubro de 2003 (na região de Coari) e entre outubro e novembro de 2009 (região do Alto Solimões). Um total de 93 amostras advindas da região de Coari e Alto Solimões foi acondicionado em sacos plásticos com suas respectivas identificações, transportadas para o Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Amazonas para secagem, pesagem e trituração. Após tratamento mecânico, 52 amostras foram encaminhadas ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miquez de Mello - CENPES/PETROBRÁS, onde seguiram o tratamento

químico de acordo com Uesugui (1979); e as demais 41 amostras foram tratadas no Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de Geociências da UFRGS (LPPMMT/IGEO/UFRGS), submetidas a processamento ligeiramente distintas, tal como sintetizado por Silva *et al.* (2011). Em ambos processamentos foram empregados peneiramento em malha de 10 µm.

O concentrado obtido das 52 amostras da região de Coari foi utilizado para a confecção de 156 lâminas palinológicas (três lâminas por nível estratigráfico), analisadas quantitativa e qualitativamente, a fim de verificar a diversidade e abundância de palinomorfos. As lâminas receberam identificação de localidade e número da amostra, arquivadas no Laboratório de Paleontologia do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas. O concentrado obtido das 41 amostras da região do Alto Solimões foi utilizado para a confecção de 129 lâminas palinológicas (variando de duas a quatro lâminas por nível estratigráfico), depositadas no LPPMMT/IGEO/UFRGS.

RESULTADOS

Das 93 amostras processadas, 82 mostraram resultados palinológicos satisfatórios, com diferentes concentrações e graus de preservação de palinomorfos. Em todos os níveis amostrados para a região de Coari foram observadas formas com baixa preservação, em particular os esporos de parede psilada, e melhor preservação nos esporos de parede ornamentada e grãos de pólen de angiospermas. As amostras provenientes da região do Alto Solimões apresentam boa preservação, raramente ocorrendo rasgados.

Um total de 101 táxons de palinomorfos foi reconhecido, incluindo 11 esporos de fungos, 7 algas, 1 escolecodonte, 1 dinoflagelado, 31 esporos de pteridófitas, 2 grãos de pólen de gimnospermas e 48 grãos de pólen de angiospermas. Nesta contribuição, são apresentados

os táxons vinculados às angiospermas, com medidas, ocorrência, afinidade botânica e outras informações ecológicas; descrições são exclusivas para aqueles com taxonomia aberta.

Para a sistemática dos grãos de pólen e esporos foram adotados os sistemas de classificação de H. Potonié (1893) e R. Potonié (1931, 1934). Fotomicrografias de espécies selecionadas são apresentadas nas figuras 2 a 6. Informações sobre proveniência dos espécimes ilustrados constam em forma de apêndice.

Divisão POLLENITES Potonié 1893

Classe INAPERTURATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Clavainaperturites Van der Hammen & Wymstra 1964

Clavainaperturites sp. (Figura 2.A)

Dimensões (23 espécimes): diâmetro 25(31)37 μm .

Descrição: grão de pólen mônade, médio, isopolar, circular; inaperturado, intectado, exina de 1 μm de espessura; clavado, clavas com comprimento de 1,0-1,5 μm .

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P6, P7 e P8).

Crotonoidaepollenites Rao & Ramanujam 1983

Crotonoidaepollenites reticulatus Silva-Caminha *et al.* 2010 (Figura 2.B)

Dimensões (75 espécimes): diâmetro 38(42)46 μm .

Registro prévio: Brasil (Silva-Caminha *et al.*, 2010).

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P1, P2, P4, P6, P7 e P8).

Proxapertites Van der Hammen 1956

Proxapertites tertiaria Van der Hammen & García de Mutis 1966 (Figura 2.C)

Dimensões (9 espécimes): maior eixo 82-113 µm, menor eixo 52-73 µm.

Registros prévios: Brasil (Hoorn, 1993; Silveira, 2005; Leite, 2006) e Colômbia (Van der Hammen & García de Mutis, 1966).

Afinidade botânica: Annonaceae (*Crematosperma*).

Informações ecológicas: Annonacea é vegetal que ocorre como árvores ou arbustos, comum em florestas de planícies em áreas centrais da região amazônica e Guianas.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13; Alto Solimões: P1, P2, P4, P5, P7 e P8) e Içá (Coari: P2).

Proxapertites sp. (Figura 2.D)

Descrição: grão de pólen mônade, muito grande, anisopolar, triangular a circular; sulco dividindo o grão em dois; tectado, exina 2 µm de espessura, nexina 1 µm de espessura, columela com 1 µm de comprimento, extremidades muito distintas e visíveis, *tectum* com 1 µm de espessura; escultura faveolada.

Dimensões (3 espécimes): maior eixo 130-135 µm, menor eixo 76-81 µm.

Afinidade botânica: Annonaceae.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9 e P12) e Içá (Coari: P2).

Grimsdalea Germeraad *et al.* 1968

Grimsdalea magnaclavata Germeraad *et al.* 1968 (Figura 2.E)

Dimensões (528 espécimes): 40(52)64 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a,b; Hoorn, 1993, 1994b), Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011) e Venezuela (Germeraad *et al.*, 1968).

Afinidade botânica: desconhecida.

Informação ecológica: possivelmente uma palmeira extinta de vegetação costeira (Hoorn, 1994b).

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P1, P2, P4, P5, P6, P7 e P8).

Classe FENESTRATAE Van der Hammen 1956

Fenestrites Van der Hammen 1956

Fenestrites spinosus (Van der Hammen 1956) Germeraad *et al.* 1968 (Figura 2.F)

Dimensões (13 espécimes): diâmetro 30-38 µm (incluindo a crista e excluindo espinhos).

Registros prévios: Brasil (Leite, 2006); região do Caribe (Germeraad *et al.*, 1968) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Asteraceae, com semelhança com as espécies *Elephantopus angustifolia*, *Rolandia fruticosa*, *Vernonia canescens* e *Vernonia remotiflora*.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2 e P9) e Içá (Coari, P2).

Fenestrites longispinosus Lorente 1986 (Figura 2.G)

Dimensões (3 espécimes): diâmetro 22-25 µm.

Registros prévios: Brasil (Silva-Caminha *et al.*, 2010), Venezuela (Lorente, 1986) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: de acordo com Lorente (1986), este táxon apresenta semelhanças com as formas atuais *Hieracium* e *Hypochoeris*.

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P12).

Fenestrites sp. 1 (Figura 2.I)

Descrição: grão simples, pequeno, radialmente simétrico, isopolar, esférico, colpo e poro indistintos, fenestrados, fenestras assimétricas, crista simplibaculada.

Dimensões (18 espécimes): diâmetro 27-30 μm , lofos 2-4 μm , muro 1-2,5 μm , exina 5 μm .

Registro prévio: Brasil (Leite, 2006).

Afinidade botânica: Amaranthacea (*Gomphorena*).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2).

Fenestrites sp. 2 (Figura 2.Ha,b)

Descrição: grão simples, médio, radialmente simétrico, isopolar, esférico; colpo e poro indistintos; exina diferenciada dentro de um padrão fenestrado, tendendo a formar simetria hexâmera; as janelas variam de 8-11 μm de largura, possuindo crista tectada-columelada.

Dimensões (33 espécimes): diâmetro 30-36 μm , columela 4,5 μm de comprimento, 0,5 μm de espessura, crista 1-1,5 μm largura, 2 μm de altura.

Afinidade botânica: Asteraceae.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2 e P9) e Içá (Coari: P2).

Classe MONOCOLPATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Mauritiidites Van Hoeken-Klinkenberg 1964

Mauritiidites franciscoi (Van der Hammen) Van Hoeken-Klinkenberg 1964 (Figura 2.Ja, b)

Dimensões (389 espécimes): diâmetro 27-38 μm .

Registros prévios. Brasil (Hoorn, 1993, 1994b; Silveira, 2005; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010), Venezuela (Rull, 2001) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Palmae (*Mauritia*).

Informações ecológicas: *Mauritia* ocorre principalmente em terras baixas, que ficam permanentemente inundadas, correspondentes a áreas pantanosas (Lorente, 1986; Hoorn, 1993; Jaramillo *et al.*, 2010).

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13; Alto Solimões: P1, P2, P4, P6, P7 e P8) e Içá (Coari: P2).

Classe MONOPORATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Monoporites Cookson 1947

Monoporites annulatus Van der Hammem 1954 (Figura 3.A)

Dimensões (1266 espécimes): diâmetro 32-47 μm , exina 0,5 μm .

Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Hoorn, 1993; Carvalho, 1996; Silveira, 2005; Leite, 2004, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010), Bornéu, Caribe e Nigéria (Germeraad *et al.*, 1968) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Gramineae.

Informação ecológica: ampla distribuição, desde o nível do mar até altas altitudes; faz parte de vegetação aberta e cresce em diversos ambientes, de úmidos a secos (Germeraad *et al.*, 1968).

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13; Alto Solimões: P1, P2, P4, P6, P7 e P8) e Içá (Coari: P2).

Classe DICOLPORATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Multimarginites Germeraad *et al.* 1968

Multimarginites vanderhammenii Germeraad *et al.* 1968 (Figura 3.B)

Dimensões (11 espécimes): diâmetro equatorial 34(39)44 μm .

Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a,b; Hoorn, 1993; Carvalho, 1996; Leite, 2006).

Afinidade botânica: Acanthaceae (*Trichantera gigantea* ou *Bravaisia integerrima*).

Informações ecológicas: Acanthaceae ocorre principalmente em floresta de várzea (Hoorn, 1993).

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P2, P6 e P7).

Classe TRICOLPATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Psilatricolpites Van der Hammen 1956

Psilatricolpites sp. (Figura 3.C)

Descrição: grão de pólen simples, simetria radial, isopolar, psilado, tricolpado, exina grossa, variando de 3-4,5 µm; colpos amplos em vista polar.

Dimensões (9 espécimes): diâmetro equatorial 32(37)42 µm.

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P12).

Crototricolpites Leidekmeyer 1966

Crototricolpites annemarie Leidekmeyer 1966 (Figura 3.E)

Dimensões (5 espécimes): diâmetro equatorial 37(40)43 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a,b; Hoorn, 1993; Leite, 2004, 2006; Silveira, 2005; Latrubesse *et al.*, 2007; Silva-Caminha *et al.*, 2010).

Afinidade botânica: Euphorbiaceae (*Croton*).

Informações ecológicas: Euphorbiaceae é muito comum desde planícies até altas altitudes; ocorre como ervas e videiras, podendo, ainda que raro, assumir porte arbóreo (Hoorn, 1993).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P11 e P13).

Retitrescolpites Sah 1967

Retitrescolpites baculatus Jaramillo & Dilcher 2001 (Figura 3.F)

Dimensões (1 espécime): diâmetro polar 32 µm.

Registros prévios: Colômbia (Jaramillo & Dilcher, 2001).

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P7).

Retitrescolpites magnus (González-Guzmán 1967) Jaramillo & Dilcher 2001 (Figura 3.Ga,b)

Dimensões (1 espécime): maior comprimento 47 µm, menor comprimento 27 µm.

Registros prévios: Colômbia (Jaramillo & Dilcher, 2001; Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P2).

Striatricolpites Van der Hammen 1956

Striatricolpites catatumbus González-Guzmán 1967 (Figura 3.Ha, b)

Dimensões (21 espécimes): 32 µm de comprimento.

Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a,b; Hoorn, 1993; Yamamoto, 1995; Leite, 2006), Caribe (Germeraad *et al.*, 1968) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Leguminosae, Caesalpinoideae (*Crudia-Macrolobium-Isoberlinia*).

Informações ecológicas: arbóreo ou arbusto, raramente erva ou liana, que ocorre em bancos de rios e pântanos de água doce (Germeraad *et al.*, 1968; Lorente, 1986; Hoorn, 1993; Rull, 1999).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2; Alto Solimões: P2).

Perfotricolpites González-Guzmán 1967

Perfotricolpites digitatus González-Guzmán 1967 (Figura 3.I)

Dimensões (76 espécimes): comprimento maior 47(56)65 µm, comprimento menor 44(52)60 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a,b; Hoorn, 1993, 1994b; Lima *et al.*, 1991; Carvalho, 1996; D. Santos *et al.*, 2010), Venezuela (Germeraad *et al.*, 1967; Rull, 2001), Nigéria e Bornéu (Germeraad *et al.*, 1967).

Afinidade botânica: Comnvolvulaceae (*Merremia*).

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P1, P2, P4, P5 e P7).

Retitricolpites Van der Hammen 1956

Retitricolpites sp. (Figura 3.J)

Descrição: mônade, médio, simetria radial, isopolar, prolado, tricolpado; colpos longos e retos, reticulado; exina com 3 µm de espessura, com columela bem desenvolvida, com 2 µm de espessura.

Dimensões (41 espécimes): maior comprimento 46(52)58 µm, menor comprimento 27(31)35 µm.

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P1, P2, P4, P6, P7 e P8).

Couperipollis Venkatachala & Kar 1969 (Figura 3.K)

Dimensões (6 espécimes): comprimento máximo 32(33)35 µm.

Registro prévio: Nova Guiné (Playford, 1982).

Afinidade botânica: esta forma parece estar associada à família Liliaceae, *Astelia* e *A. cunninghamii* (Playford, 1982).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P12).

Grão de pólen tricolpado indeterminado (Figura 3.D)

Descrição: grão simples, simetria radial, isopolar, esférico em vista polar, tricolpado; colpos longos, exina reticulada.

Dimensões (1 espécime): diâmetro polar 27 µm.

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P1).

Classe TRIPORATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Corsinipollenites Nakoman 1965

Corsinipollenites undulatus González-Guzmán 1967 (Figura 4.A)

Dimensões (189 espécimes): diâmetro equatorial 32(43)54 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a,b; Lima & Salard-Cheboldaeff, 1981; Lima & Dino, 1984; Pinto & Regali, 1990; Lima *et al.*, 1991; Yamamoto, 1995; Carvalho, 1996; Maizatto, 2001; Leite, 2004).

Afinidade botânica: Onagraceae (*Ludwigia*).

Informações ecológicas: Onagraceae ocorre desde planícies até vegetação aberta de montanhas. *Ludwigia* ocorre como erva ou arbusto, que cresce em condições pantanosas, como margens de rios, banhados e lagoas (Irgang & Gastal Jr., 1996).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P9 e P12; Alto Solimões: P1, P2, P4, P5, P6, P7 e P8).

Proteacidites Cookson emend. Couper 1953

Proteacidites triangulatus Lorente 1986 (Figura 4.B)

Dimensões (2 espécimes): maior comprimento 28 a 32 µm.

Registros prévios: Brasil (Hoorn, 1993; Leite, 2004) e Venezuela (Lorente, 1986).

Afinidade botânica: Sapindaceae-Proteacea (*Protea*, *Panopsis*, *Niveni* e *Paullinia*).

Informações ecológicas: diferentes espécies de Proteacea crescem em florestas tropicais secas e úmidas e encostas secas de montanhas na Venezuela (Lorente, 1986).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2).

Retitriporites Van der Hammen 1956

Retitriporites dubiosus González-Guzmán 1967 (Figura 4.C)

Dimensões (1 espécime): diâmetro equatorial maior 72 µm.

Registros prévios: Brasil (Hoorn, 1993; Leite, 2006) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P12).

Classe TRICOLPORATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Bombacacidites Couper 1960

Bombacacidites ciriloensis Muller *et al.* 1987 (Figura 4.D)

Dimensões (1233 espécimes): diâmetro equatorial 34(38)42 µm.

Registros prévios: Venezuela (Muller *et al.*, 1987; Lorente, 1986).

Afinidade botânica: Bombacaceae (*Pseudobombax munguba*).

Informações ecológicas: Bombacaceae ocorre perto de rios ou áreas inundadas (Jaramillo *et al.*, 2010).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13; Alto Solimões: P1, P2, P4, P5, P6, P7 e P8).

Bombacacidites simpliciriloensis Silva-Caminha *et al.* 2010 (Figura 4.E)

Dimensões (35 espécimes): diâmetro equatorial 34-42 µm.

Registro prévio: Brasil (Silva-Caminha *et al.*, 2010).

Afinidade botânica: Bombacaceae.

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2; Alto Solimões: P1 e P2).

Bombacacidites baculatus Muller *et al.* 1987 (Figura 4.F)

Dimensões (3 espécimes): diâmetro 38-44 μm .

Registros prévios: Brasil (Muller *et al.*, 1987; Leite, 2006), Colômbia (Muller *et al.*, 1987;

Hoorn, 1994a,b), Venezuela (Muller *et al.*, 1987).

Afinidade botânica: Bombacaceae.

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P2).

Psilatricolporites Van der Hammen 1956

Psilatricolporites sp. 1 (Figura 4.G)

Descrição: grão mônade, pequeno, oblato esferoidal, psilado, tricolporado; colpos longos e poros distintos; exina de 0,5 μm .

Dimensões (1 espécime): diâmetro polar 23,5 μm , colpos 20 μm de comprimento e poros de 1,5 μm de diâmetro.

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Içá (Coari: P2).

Psilatricolporites sp. 2 (Figura 4.H)

Descrição: grão de pólen mônade, pequeno, oblato esferoidal, tricolporado, psilado; colpos médios e poros distintos; exina 0,5 μm .

Dimensões (7 espécimes): diâmetro polar 25(27)29 μm , colpos 17(18)19 μm de comprimento e poros de 2-2,5 μm de diâmetro.

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Içá (Coari: P2).

Retitricolporites Van der Hammen 1956

Retitricolporites irregularis Van der Hammen & Wymstra 1964 (Figura 4.I)

Dimensões (109 espécimes): diâmetro equatorial 32(35)38 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a,b; Hoorn, 1993; Maizatto, 2001;

Leite, 2004, 2006; Silveira, 2005), Caribe (Germeraad *et al.*, 1968).

Afinidade botânica: Euphorbiaceae (*Amanoa*).

Informações ecológicas: Euphorbiaceae é muito comum entre planícies e região de montanha; ocorre como ervas e videiras, raramente como árvores. *Amanoa* é uma árvore comum ao longo de riachos e rios turfosos, em solos lamacentos (Hoorn, 1993).

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13; Alto Solimões P1, P2, P4, P6 e P7) e Içá (Coari, P2).

Retitricolporites guianensis Van der Hammen & Wymstra 1964 (Figura 5.Aa,b)

Dimensões (1 espécime): diâmetro equatorial 43 µm.

Registros prévios: Brasil (Hoorn, 1993; Leite *et al.*, 1997a), Caribe (Germeraad *et al.*, 1968), Colômbia (Hoorn, 1994b).

Afinidade botânica: *Firmiania colorata* e *Hildegardia barteri* (Sterculiaceae) (Germeraad *et al.*, 1968).

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P7).

Retitricolporites sp. 1 (Figura 5.B)

Descrição: grão mônade, médio, simetria radial, isopolar, prolato, tricolporado, reticulado; colpos longos e poros distintos.

Dimensões (7 espécimes): diâmetro polar 34,5(35,5)37 µm, diâmetro equatorial 17(17,5)18 µm, colpo de mesma medida do diâmetro polar, poros de 3-4 µm de diâmetro.

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari, P2 e P12) e Içá (Coari: P2).

Retitricolporites sp. 2 (Figura 5.Da,b,c)

Descrição: grão mônade, médio, radialmente simétrico, isopolar, prolato, tricolporado, reticulado; colpos longos e poros distintos.

Dimensões (5 espécimes): diâmetro equatorial 45(47)49 µm.

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P7).

Retitricolporites sp. 3 (Figura 5.C)

Descrição: grão de pólen mônade, pequeno, prolato esferoidal, tricolporado e ornamentação microreticulada.

Dimensões (1 espécime): diâmetro polar 36(38)40 µm, diâmetro equatorial 22(24)26 µm.

Registro prévio: Brasil (Silva-Caminha *et al.*, 2010).

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Içá (Coari: P2).

Echitricolporites Van der Hammen emend. Germeraad *et al.* 1968

Echitricolporites spinosus (Figura 5.Ea, b)

Dimensões (7 espécimes): diâmetro polar 25 µm, diâmetro equatorial 18 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a,b; Hoorn, 1993; Silveira, 2005, Leite, 2006), Venezuela (Germeraad *et al.*, 1968; Muller *et al.*, 1987; Lorente, 1986), Colômbia (Hoorn, 1994), Caribe (Germeraad *et al.*, 1968).

Afinidade botânica: Asteraceae (*Senecio*).

Informações ecológicas: planta herbácea, arbustiva ou arvoreta, de porte variado, anuais ou perenes.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2) e Içá (Coari: P2).

Paleosantalaceaepites Biswas 1962 emend. Dutta & Sha 1970

Paleosantalaceaepites cingulatus Jaramillo *et al.* 2011 (Figura 5.F)

Dimensões (1 espécime): diâmetro polar 39 µm, diâmetro equatorial 27 µm.

Registro prévio: Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Euphorbiaceae.

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P9).

Classe STEPHANOCOLPATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Retistephanocolpites Leidelmeyer 1966

Retistephanocolpites gracilis Regali *et al.* 1974 (Figura 5.G)

Dimensões (19 espécimes): diâmetro equatorial 24(27)30 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a,b; Hoorn, 1993; Garcia *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Rubiaceae.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2) e Içá (Coari: P2).

Retistephanocolpites sp. (Figura 5.H)

Descrição: grão mônade, médio, simetria radial, isopolar, estefanocolpado; colpos curtos, em número de 10 a 12; exina com retículo médio, uniforme, recobrimdo toda superfície do grão; grande área polar.

Dimensões (23 espécimes): diâmetro equatorial 30(33)36 µm.

Afinidade botânica: Rubiaceae.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13) e Içá (Coari: P2).

Psilastephanoporites Van der Hammen 1956

Psilastephanoporites tesseroporus Regali *et al.* 1974 (Figura 5.I)

Dimensões (1 espécime): diâmetro equatorial 38 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a,b), Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: desconhecida.

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P2).

Packydermites Germeraad *et al.* 1968

Packydermites diderixi Germeraad *et al.* 1968 (Figura 6.A)

Dimensões (3 espécimes): diâmetro equatorial 32-46 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974ab; Carvalho, 1996), Venezuela (Germeraad *et al.*, 1968).

Afinidade botânica: Clusiacea (*Symphonia globulifera*).

Informações ecológicas: ampla distribuição, compondo mata de várzea da região amazônica, da mata pluvial atlântica (Lorenzi, 1992) e da restinga brasileira (Marchant *et al.*, 2002); normalmente encontrada em igapós ou terras firmes, em solos arenosos úmidos.

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2).

Classe STEPHANOCOLPORATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Jandufouria Germeraad *et al.* 1968

Jandufouria seamrogiformis Germeraad *et al.* 1968 (Figura 6.B)

Dimensões (1 espécime): diâmetro equatorial 27 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a,b), Venezuela (Germeraad *et al.*, 1968) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Bombacaceae (*Catostemma*).

Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P1).

Classe PERIPORATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Alnipollenites Potonié 1931

Alnipollenites sp. (Figura 6.C)

Descrição: grão de pólen simples, contorno quadrado ou mais ou menos quadrado com vértices arredondados, 6 poros, isopolar, oblato; poros circulares, anguloaperturato, diâmetro dos poros de 3,5-4,0 µm; superfície do grão psilada a finamente granulada, exina de 2,5 µm de espessura, com arcos distintos ligando um poro a outro.

Dimensões (3 espécimes): 25(26)27 µm.

Afinidade botânica: Betulaceae (*Alnus*).

Informações ecológicas: *Alnus* corresponde a árvores e arbustos de clima temperado que ocorrem no sudeste da Ásia e Cordilheira dos Andes (Mabberley, 1997).

Ocorrência: Formação Içá (Coari: P2).

Psilaperiporites Regali *et al.* 1974

Psilaperiporites minimus Regali *et al.* 1974 (Figura 6.D)

Dimensões (16 espécimes): diâmetro 20(22)24 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974ab; Lima *et al.*, 1991).

Afinidade botânica: Amarantacea-Chenopodiaceae.

Informações ecológicas: Amarantacea-Chenopodiaceae corresponde a vegetais herbáceos que se desenvolvem em pântanos mais ou menos salobros (Van der Hammen, 1963).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P13).

Echiperiporites Van der Hammen & Wymstra 1964

Echiperiporites akanthos Van der Hammen & Wymstra 1964 (Figura 6.E)

Dimensões (187 espécimes): diâmetro 16(20)24 µm.

Registros prévios: Brasil (Lima & Cunha, 1986; Pinto & Regali, 1990; Lima *et al.*, 1991; Hoorn, 1993; Silveira, 2005), Guiana Inglesa (Van der Hammen & Wymstra, 1964) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Dicotyledoneae.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13; Alto Solimões: P1) e Içá (Coari: P2).

Echiperiporites estelae Germeraad *et al.* 1968 (Figura 6.F)

Dimensões (276 espécimes): diâmetro 55(71)87 µm.

Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a,b; Hoorn, 1993; Yamamoto, 1995; Leite, 2004, 2006; Garcia *et al.*, 2008; D. Santos *et al.*, 2010; Silva-Caminha *et al.*, 2010), Caribe (Germeraad *et al.*, 1968) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Malvaceae (*Thespesia populnea*).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P9, P12 e P13; Alto Solimões: P1, P2, P4, P5, P6, P7 e P8).

Persiacariopollis Krutzsch 1962

Persiacariopollis sp. (Figura 6.G)

Descrição: grão de pólen mônade, grande, radiosimétrico, esférico, pantoporado, tectado, columelado, ornamentação reticulada; retículo com muros altos, formando poliedros irregulares.

Dimensões (1 espécime): diâmetro 48 µm.

Afinidade botânica: Polygonaceae (*Pollygonum*).

Informações ecológicas: corresponde a planta herbácea, arbustiva ou semiaquática, que cresce em áreas pantanosas (Van der Hammen, 1963).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P9).

Classe PERICOLPORATAE Iversen & Troels-Smith 1950

Perisyncolporites Germeraad *et al.*, 1968

Perisyncolporites pokornyi Germeraad *et al.* 1968 (Figura 6.H)

Dimensões (188 espécimes): diâmetro 27(36)45 µm.

Registros prévios: Brasil (Lima & Salard-Cheboldaeff, 1981; Hoorn, 1993; Lima & Melo, 1994; Yamamoto, 1995; Maizatto, 2001; Silveira, 2005; Leite, 2006; Garcia *et al.*, 2008; Silva-Caminha *et al.*, 2010), Caribe (Germeraad *et al.*, 1968), e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

Afinidade botânica: Malpighiaceae (*Brachypteris*).

Informações ecológicas: muito comum em regiões periodicamente inundáveis; ocorre como lianas, arbustos e árvores.

Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P11 e P13) e Içá (P2).

Classe POLYADEAE Iversen & Troels-Smith 1950

Pollyadopollenites Pflug & Thomson 1953

Pollyadopollenites sp. (Figura 6.I)

Descrição: políade de forma oval, de arranjo assimétrico, formada por 10 mônades laterais e cinco mônades centrais (cerca de 20 µm de diâmetro), inaperturados, apolares, com exina psilada.

Dimensões (16 espécimes): maior comprimento 120(127)135 µm.

Registros prévios: Brasil (Hoorn, 1993; Leite, 2004; Silveira, 2005).

Afinidade botânica: Leguminosae, Mimosoideae.

Informações ecológicas: ocorre como árvore, arbusto ou liana, e mais raro como erva (Hoorn, 1993).

Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P9, P12 e P13).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A paleoflora representada particularmente por angiospermas das áreas investigadas apresentam boa conservação, com raros elementos rasgados ou corroídos. A composição da palinoflora em ambas as áreas apresentam contrastes, tendo na região do Alto Solimões uma menor diversidade, porém maior abundância de grãos de pólen de angiospermas representados por *Clavinaaperturites* sp., *Crotonoidaepollenites reticulatus*, *Grimsdalea magnaclavata*, *Mauritiidites franciscoi*, *Multimarginites vanderhammenii*, *Retitrescolpites magnus*, *Striatricolpites catatumbus*, *Perfotricolpites digitatus*, *Retitricolpites* sp., *Bombacacidites ciriloensis*, *B. simpliciriloensis*, *B. baculatus*, *Retitricolporites guianensis*, *R. sp. 1*, *R. sp. 2*, *Psilastephanoporites tesseroporus*, *Jandufouria seamrogiformis* e *Echiperiporites estelae*. Dentre os grãos de angiospermas citadas, *B. ciriloensis*, *G. magnaclavata* e *P. digitatus* são mais numerosas em alguns níveis amostrais.

Para a região de Coari é encontrada uma maior diversificação de formas representada por *Proxapertites* sp., *P. tertiaria*, *Fenestrites* sp. 1, *F. sp. 2*, *F. spinosus*, *F. longispinosus*, *Mauritiidites franciscoi*, *Monoporites annulatus*, *Psilatricolpites* sp., *Crototricolpites annemarie*, *Striatricolpites catatumbus*, *Couperipollis* sp., *Corsinipollenites undulates*, *Proteacidites triangulates*, *Bombacacidites ciriloensis*, *B. simpliciriloensis*, *Psilatricolporites* sp. 1, *P. sp. 2*, *Retitricolporites irregularis*, *R. sp. 1*, *R. sp. 3*, *Echitricolporites spinosus*, *Paleosantalaceaepites cingulatus*, *Retistephanocolpites* sp., *R. gracilis*, *Packydermites diderixii*, *Alnipollenites* sp., *Psilaperiporites minimus*, *Echiperiporites akanthos*, *E. estelae*, *Persiacariopollis* sp., *Perisyncolporites pokorny* e *Pollyadopollenites* sp.

Os aspectos quantitativos serão explorados em contribuições subsequentes na forma de diagramas, com suas respectivas interpretações paleoflorísticas, integrados a outros palinomorfos associados (fungos, pteridófitas, gimnospermas, algas, escolecodonte), bem como os táxons guias marcadores de idade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEAM e ao CNPq pelo financiamento das atividades de campo e concessão de bolsa de doutorado e de produtividade em pesquisa (Processos CNPq 142102/2010-5 e 308844/2010-6). Este trabalho é parte da Tese de Doutorado de Rosemary Rocha da Silveira junto ao Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bento-dos-Santos, D. 2005. *Palinologia de amostras da seção-tipo da Formação Itaquaquetuba, Bacia de São Paulo, na Mineradora Itaquareia I: implicações palinocrono-estratigráficas e paleoambientais*. Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Guarulhos, Monografia de Conclusão de Curso, 148 p.
- Bento-dos-Santos, D.; Garcia, M.J.; Fernandes, R.S.; Saad, A.R. & Bistrichi, C.A. 2006a. Composição paleoflorística dos depósitos terciários da Formação Itaquaquetuba, Estado de São Paulo, Brasil. *In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7, SIMPÓSIO DO TERCIÁRIO DO BRASIL, 1, 2006. Boletim de Resumos, Serra Negra, UNESP, p. 20.*
- Bento-dos-Santos, D.; Garcia, M.J.; Fernandes, R.S.; Saad, A.R. & Bistrichi, C.A. 2006b. A Paleopalinologia na reconstrução da paisagem terciária da Formação Itaquaquetuba (Mineradora Itaquareia 1), Município de Itaquaquetuba, Estado de São Paulo, Brasil. *In: SIMPÓSIO ARGENTINO DE PALEOBOTANICA Y PALINOLOGÍA, 13, 2006. Boletín de Resúmenes, Bahia Blanca, Universidad Nacional del Sur y CONISET, p. 72.*
- Caputo, M.V. 1984. *Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basin of Brazil*. University of California, Tese de Doutorado, 583 p.
- Carvalho, M.A. 1996. *Estudo paleoecológico e paleoclimático, com base em palinologia, aplicado em sedimentos pleistocênicos e pliocênicos da Bacia da Foz do Amazonas*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 146 p.
- Cruz, N.M.C. 1984. Palinologia do Linhito do Solimões no Estado do Amazonas. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, 1984. Resumos expandidos, DNPM, Manaus, p. 473-480.*

- Daemon, R.F. & Contreiras, C.J.A. 1971. Zoneamento palinológico da bacia do Amazonas. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971. *Anais*, São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 3:79-91.
- Eiras, J.F.; Becker, C.R.; Souza, E.M.; Gonzaga, F.G.; da Silva, J.G.F.; Daniel, L.M.F.; Matsuda, N.S. & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **8**(1):17-45.
- Garcia, M.J.; Bernardes-de-Oliveira, M.E.; Santos, M.A.; Dino, R.; Antonioli, L.; Bistrichi, C.A.; Casado, F.C. 2007. Floras Neógenas Sul-Americanas no Contexto Mundial. *In*: M.J. Garcia (ed.) *Paleontologia: Cenários de Vida*, vol. 1, p. 657-687.
- Garcia, M.J.; Bistrichi, C.A., Saad, A.R.; Campanha, V.A.; Oliveira, P.E. 2008. Stratigraphy and Paleoenvironments of the Tanque Basin, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **11**(3):147-168. doi: 10.4072/rbp.2008.3.02
- Germeraad, J.H.; Hopping, C.A.; Muller, J. 1968. Palynology of tertiary sediments from the tropical areas. *Review Palaeobotany and Palynology*, **6**:189-348. doi: 10.1016/0034-6667(68)90051-1
- Hoorn, C. 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **105**:277-309. doi: 10.1016/0031-0182(93)90087-Y
- Hoorn, C. 1994a. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonas Basin (Early Miocene - early Middle Miocene, Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **109**: 1-54. doi: 10.1016/0031-0182(94)90117-1
- Hoorn, C. 1994b. An environmental reconstruction of the palaeo-Amazon River system (Middle-Late Miocene, NW Amazonia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **112**:187-238. doi: 10.1016/0031-0182(94)90074-4

- Irgang, B.E. & Gastal Jr., C.V. 1996. *Macrófitas aquáticas da Planície Costeira do RS*. Porto Alegre, Ed. dos Autores, 290 p.
- Jaramillo, C. & Dilcher, D.L. 2001. Middle Paleogene palynology of central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes. *Palaeontographica B*, **258**:87-213.
- Jaramillo, C.; Hoorn, C.; Silva, S.A.F.; Leite, F.; Herrera, F.; Quiroz, L.; Dino, R. & Antonioli, L. 2010. The origin of the modern Amazon Rainforest: implications of the palynological and palaeobotanical record. In: C. Hoorn & F. Wesselingh (eds.) *Amazonia, Landscape and species Evolutions: A Look in to the past*. USA. Wiley-Blackwell, p. 317-334.
- Jaramillo, C. A., Rueda, M. & Torres, V. 2011. A palynological zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills of Colombia. *Palynology*, **35**:46-84.
doi:10.1080/01916122.2010.515069
- Latrubesse, E.M.; Silva, S.A.F.; Cozzuol, M. & Absy, M.L. 2007. Late Miocene continental sedimentation in southwestern Amazonia and its regional significance: Biotic and geological evidence. *Journal of South American Earth Sciences*, **23**:61-80. doi: 10.1016/j.jsames.2006.09.021
- Leite, F.P.R.; Oliveira, M.E.B.; De Oliveira, P.E.; Silvestre-Capelato, M.S.; Arai, M. & Trunckenbroudt, W. 1997a. Palinoflora Miocenas da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, na Região Bragantina, Estado do Pará, Brasil. *Revista da Universidade Guarulhos*, **2**:128-140.
- Leite, F.P.R.; Oliveira, M.E.B.; Arai, M. & Trunckenbroudt, W. 1997b. Palinoestratigrafia da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, Mioceno do Nordeste do Estado do Pará, Brasil. *Revista da Universidade Guarulhos*, **2**:141-147.
- Leite, F.P.R. 2004. Palinologia. In: D.F. Rossetti & A.M. Góes (ed.) *O Neógeno da Amazônia Oriental*. Belém, Editora do Museu Emilio Goeldi, p. 55-90.

- Leite, F.P.R. 2006. *Palinologia da Formação Solimões, Neógeno da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas, Brasil: Implicações Paleoambientais e Bioestratigráficas*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 128p.
- Lima, M.R. & Salard-Cheboldaeff, M. 1981. Palynologie des bassins de Gandarela et Fonseca (Eocene de L'état de Minas Gerais, Brésil). *Boletim do Instituto de Geociências USP*, **12**:33-54.
- Lima, M.R. & Dino, R. 1984. Palinologia de Amostras da Bacia de Bonfim, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Geociências USP*, **15**:1-11.
- Lima, M.R. & Cunha, F.L.S. 1986. Análise palinológica de um nível linhítico da Bacia de São José de Itaboraí, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **58**(4):579-588.
- Lima, M.R. & Amador, E.S. 1985. Análise palinológica de sedimentos da Formação Resende, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8, 1983. *Coletânea de trabalhos paleontológicos*, Rio de Janeiro, MME-DNPM, p. 371-378.
- Lima, M.R.; Melo, M.S. & Coimbra, A.M. 1991. Palinologia de Sedimentos da Bacia de São Paulo, Brasil. *Revista do Instituto Geológico*, **12**:7-20.
- Lima, M.R. & Melo, M.S. 1994. Palinologia de depósitos rudáceos da região de Itatiaia, bacia de Resende, Rio de Janeiro. *Geonomos*, **2**(1):12-21.
- Lorente, M.A. 1986. Palynology and palynofacies of upper tertiary in Venezuela. *Dissertationes Botanicae*, **99**: 1-224.
- Lorenzi, H. 1992. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa, Editora Plantarum, 352 p.
- Mabberley, D.J. 1997. *The Plant-book: A portable dictionary of the vascular plants*. Cambridge, Cambridge University Press, 858 p.

- Maia, R.G.N.; Godoy, H.K.; Yamaguti, H.S.; Moura, P.H.; Costa, F.S.F. da; Holanda, M.A. & Costa, J.A. 1977. *Projeto Carvão no Alto Solimões*. Manaus, DNPM/CPRM, 137 p. (relatório final).
- Maizatto, J.R. 2001. *Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca - Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares*. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Tese de Doutorado, 249 p.
- Marchant, R.; Almeida, L.; Behling, H.; Berrio, J.C.; Bush, B.; Cleef, A.; Duivenvoorden, J.; Kappellen, M.; Oliveira, P.; Oliveira-Filho, A.T.; Lozano-Garcia, S.; Hooghiemstra, H.; Ledru, M.P.; Ludlow-Wiechers, B.; Markgraf, V.; Mancini, V.; Paez, M.; Pietro, A.; Rangel, O. & Salgado-Labouriau, M.L. 2002. Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **121**: 1-75. doi: 10.1016/S0034-6667(02)00082-9
- Melo, A.F.F. & Villas Boas, P.F. 1993. Caracterização e Distribuição da Formação Içá na Porção Noroeste do Estado do Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4, 1993. *Resumos Expandidos*, Manaus, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 210-211.
- Muller, J.; Giacomo, E. & Van Erve, A.W. 1987. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contribution Series*, **19**:7-76.
- Nogueira, A.C.R.; Silveira, R.R. & Guimarães, J.T.F. 2013. Neogene-Quaternary sedimentar and paleovegetation history of eartern Solimões Basin, central Amazon region. *Jornal of South American Earth Sciences*, **46**:89-99. doi: 10.1016/j.jsames.2013.05.004

- Pinto, A.D.P. & Regali, M.S.P. 1990. Palinoestratigrafia dos sedimentos terciários da bacia de Gandarela, Minas Gerais-Brasil. *Revista Escola de Minas*, **44**(1):10-15.
- Playford, G. 1982. Neogene Palynomorphs from the Huon Peninsula, Papua New Guinea. *Palynology*, **6**:29-54.
- Potonié, H. 1893. Die flora des Rotliegenden von Thüringen. *Abhandlungen der Koniglich Preussischen Geologischen Landdesanstalt*, **9**(2):1-298.
- Potonie, R. 1931. Zur Mikroskopie der Braunkohlen, Tertiäre Blütenstaubformen. *Braunkohle*, **30**:325-333.
- Potonié, R. 1934. Zur Morphologie der fossilen Pollen und Sporen. *Arbeiten aus dem Institut fur Paläobotanik und Petrography Brennstein*, **4**:5-24.
- Regali, M.S.P. 1971. *Palinologia dos Sedimentos Cenozóicos da Foz do Rio Amazonas*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 118 p.
- Regali, M.S.P.; Uesugui, N. & Santos, A.S. 1974a. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do Brasil (I). *Boletim Técnico da Petrobrás*, **17**(3):177-190.
- Regali, M.S.P.; Uesugui, N. & Santos, A.S. 1974b. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do Brasil (II). *Boletim Técnico da Petrobrás*, **17**(4):263-301.
- Rull, V. 1999. Paleofloristic and paleovegetational changes across the Paleocene-Eocene boundary in northern South America. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **107**:83-95. doi: 10.1016/S0034-6667(99)00014-7
- Rull, V. 2001. A Quantitative Palynological Record from the Early Miocene of Western Venezuela, with Emphasis on Mangroves. *Palynology*, **25**:109-126. doi: 10.2113/0250109
- Santos, D.B.; Garcia, M.J.; Saad, A.R. & Bistrichi, C.A. 2010. Palinoestratigrafia da Formação Itaquaquecetuba, bacia de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **13**(3):205-220. doi: 10.4072/rbp.2010.3.05

- Santos, R.A.; Garcia, M.J.; Oliveira, P.E.; Giannini, P.C.F.; Fernandes, R.S. & Bistrichi, C.A. 2012. Palinomorfos das turfas de Eugênio de Melo, médio vale do rio Paraíba do Sul, São Paulo, Brasil. *Iheringia, Série Botânica*, **67**:7-24.
- Silva, W.G.; Souza, P.A. & Arai, M. 2011. Palinomorfos Neógenos do Poço 2-CA-1-RS, Bacia de Pelotas, Brasil: Significado Bioestratigráfico e Paleoecológico. *Geologia USP*, **11**:149-169. doi: 10.5327/Z1519-874X2011000100009
- Silva-Caminha, S.A.F. da.; Jaramillo, C.A. & Absy, M.L. 2010. Neogene palynology of the Solimões Basin, Brazilian Amazônia. *Palaeontographica, Abteilung B*, **283**:1-67.
- Silveira, R.R. 2005. *Cronoestratigrafia e Interpretação Paleoambiental de Depósitos Miocenos da Formação Solimões, Região de Coari, AM*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Dissertação de Mestrado, 115 p.
- Silveira, R.R. & Nogueira, A.C.R. 2007. Cronoestratigrafia de Depósitos Miocenos da Bacia do Solimões e sua correlação com depósitos da Amazônia. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 11, 2007. *Boletim de Resumos*, Belém, v. 1, CDRom.
- Silveira, R.R. & Souza, P.A. (submetido a). Palinoestratigrafia e Paleoambiente dos Depósitos de Atalaia do Norte e Tabatinga, Formação Solimões, Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*.
- Silveira, R.R. & Souza, P.A. (submetido b). Palinologia (Esporos de Fungo e Pteridófitas, Grãos de Pólen de Gimnospermas, Cistos de Algas e Escolecodonte) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), Amazonas, Brasil. *Pesquisas em Geociências*.
- Uesugui, N. 1979. Palinologia: técnicas de tratamento de amostras. *Boletim Técnico da Petrobrás*, **22**:229-240.
- Van der Hammen, T. 1963. A Palynological Study on the Quaternary of British Guiana. *Leidse Geologische Mededelingen*, **29**:126-169.
- Van der Hammen, T. & Wymstra, T.A. 1964. A palynological study on the Tertiary and Upper Cretaceous of British Guyana. *Leidse Geologische Mededelingen*, **30**:183-241.

Van der Hammen, T. & García de Mutis. 1966. The Paleocene pollen flora of Colombia.

Leidse Geologische Mededelingen, **35**:105-116.

Wanderley Filho, J.R.; Eiras, J.F. & Vaz, P.T. 2007. Bacia do Solimões. *Boletim de*

Geociências Petrobrás, **15**(2): 217-225.

Yamamoto, I.T. 1995. *Palinologia das Bacias Tafrogênicas do Sudeste (bacias de Taubaté,*

São Paulo e Resende): análise bioestratigráfica integrada e interpretação

paleoambiental. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de Rio

Claro, Tese de Doutorado, 217 p.

Figura 1. Localização da área de amostragem. **A**, Mapa geológico; **B**, área estudada e amostragem na região de Coari (pontilhado corresponde a limite impreciso do Arco de Purus, Sub-bacia de Juruá (modificado de Nogueira *et al.*, 2013); **C**, pontos de coleta do Alto Solimões, Sub-bacia de Jandiatuba, Bacia do Solimões.

Figure 1. Location of the sampling area. **A**, Geological map; **B**, location of study area and sampling in the Coari region (dotted in B corresponds to inaccurate boundary of the Purus Arch, Sub-basin Juruá (modified from Nogueira *et al.*, 2013); **C**, location of sampling sites in Alto Solimões, Jandiatuba Sub-basin, Solimões Basin.

Figura 2. Fotomicrografias de grãos de pólen de angiospermas selecionados (VP: vista polar; FD: foco distal; FP: foco proximal; VO: vista oblíqua): A) *Clavainaperturites* sp., VP, FD; B) *Crotonoidaepollenites reticulatus*, VP, FP; C) *Proxapertites tertiaria*, VO, FD; D) *Proxapertites* sp., VP, FD; E) *Grimsdalea magnaclavata*, VO, FD; F) *Fenestrites spinosus*, VP, FP; G) *Fenestrites longispinosus*, VP, FD; Ha) *Fenestrites* sp. 2, VP, FD; Hb) *Fenestrites* sp.2, VP, FP; I) *Fenestrites* sp. 1, VP, FD; Ja) *Mauritiidites franciscoi*, VO, FP; Jb) *Mauritiidites franciscoi*, VO, FD.

Figure 2. Photomicrographs of selected Angiosperm pollen grains: VP (polar view), FD (distal focus), FP (proximal focus), VO (oblique view).

Figura 3. Fotomicrografias de grãos de pólen de angiospermas selecionados (VO: vista oblíqua; FD: foco distal; VE: vista equatorial; VP: vista polar; FP: foco proximal): A) *Monoporites annulatus*, VO, FD; B) *Multimarginites vanderhammenii*, VE, FD; C) *Psilatricolpites* sp., VP, FD; D) grão de pólen tricolpado indeterminado, VP, FD; E) *Crototricolpites annemarie*, VP, FP; F) *Retitrescolpites baculatus*, VP, FD; Ga) *Retitrescolpites magnus*, VE, FD; Gb) *R. magnus*, VE, FP; Ha) *Striatricolpites catatumbus*, VE, FD; Hb) *S. catatumbus*, VE, FP; I) *Perfotricolpites digitatus*, VE, FD; J) *Retitricolpites* sp., VE, FP; K) *Couperipollis* sp., VE, FP.

Figure 3. Photomicrographs of selected Angiosperm pollen grains: VO (oblique view), FD (distal focus), VE (equatorial view), VP (polar view), FP (proximal focus).

Figura 4. Fotomicrografias de grãos de pólen de angiospermas selecionados (VP: vista polar; FD: foco distal; FP: foco proximal; VE: vista equatorial): A) *Corsinipollenites undulatus*, VP, FD; B) *Proteacidites triangulatus*, VP, FP; C) *Retitriporites dubiosus*, VP, FP; D) *Bombacacidites ciriloensis*, VP, FD; E) *Bombacacidites simpliciriloensis*, VP, FD; F) *Bombacacidites baculatus*, VP, FD; G) *Psilatricolporites* sp. 1, VE, FD; H) *Psilatricolporites* sp. 2, VE, FP; I) *Retitricolporites irregularis*, VP, FP.

Figure 4. Photomicrographs of selected Angiosperm pollen grains: VP (polar view), FD (distal focus), FP (proximal focus), VE (equatorial view).

Figura 5. Fotomicrografias de grãos de pólen de angiospermas selecionados (VE: vista equatorial; FM: foco médio; FD: foco distal; FP: foco proximal; VP: vista proximal): Aa) *Retitricolporites guianensis*, VE, FM; Ab) *R. guianensis*, VE, FD; B) *Retitricolporites* sp. 1, VE, FP; C) *Retitricolporites* sp. 3, VE, FD; Da) *Retitricolporites* sp. 2, VE, FM; Db) *Retitricolporites* sp. 2, VE, FD; Dc) *Retitricolporites* sp. 2, VE, FP; Ea) *Echitricolporites spinosus*, VE, FP; Eb) *E. spinosus*, VE, FM; F) *Paleosantalaceaepites cingulatus*, VE, FD; G) *Retistephanocolpites gracilis*, VP, FP; H) *Retistephanocolpites* sp., VP, FP; I) *Psilastephanoporites tesseropus*, VP, FD.

Figure 5. Photomicrographs of selected Angiosperm pollen grains: VE (equatorial view), FM (middle focus); FD (distal focus), FP (proximal focus), VP (proximal view).

Figura 6. Fotomicrografias de grãos de pólen de angiospermas selecionados (VP: vista polar; FP: foco proximal; FD: foco distal; FM: foco médio): A) *Pachydermites diederixii*, VP, FP; B) *Jandufouria seamrogiformis*, VP, FD; C) *Alnipollenites* sp., VP; D) *Psilaperiporites minimus*, VP, FD; E) *Echiperiporites akanthos*, VP, FD; F) *Echiperiporites estelae*, VP, FD; G) *Persiacariapollis* sp., VP, FD; H) *Perisyncolporites pokorny*, VP, FP; I) *Polyadopollenites* sp., VP, FD.

Figure 6. Photomicrographs of selected Angiosperm pollen grains: VP (polar view), FP (proximal focus), FD (distal focus), FM (middle focus).

Apêndice. Informações sobre a procedência dos espécimes de grãos de pólen de angiospermas ilustrados.

Appendix. Data on the procedence of illustrated specimens of Angiosperm pollen grains.

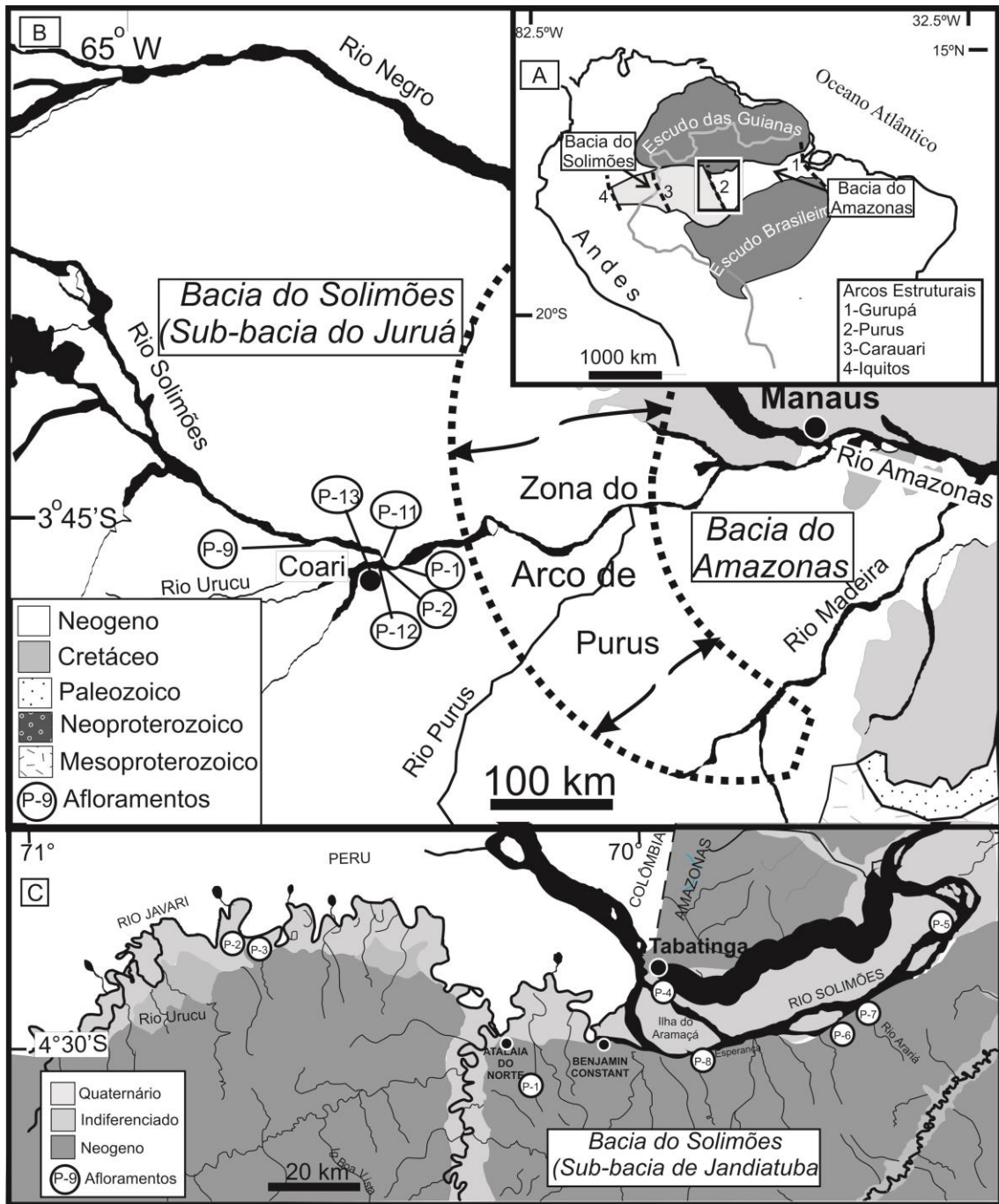


Figura 1

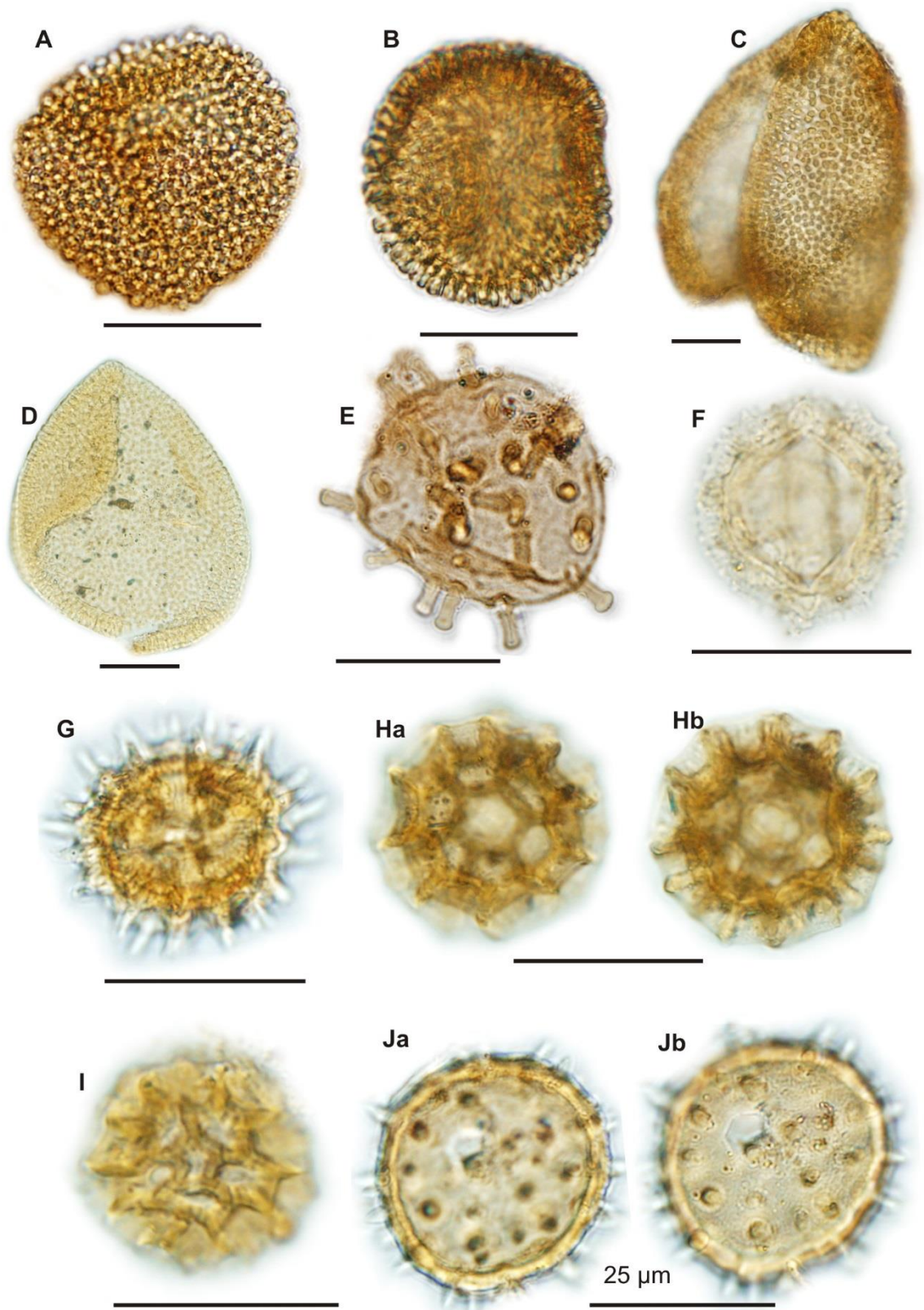


Figura 2

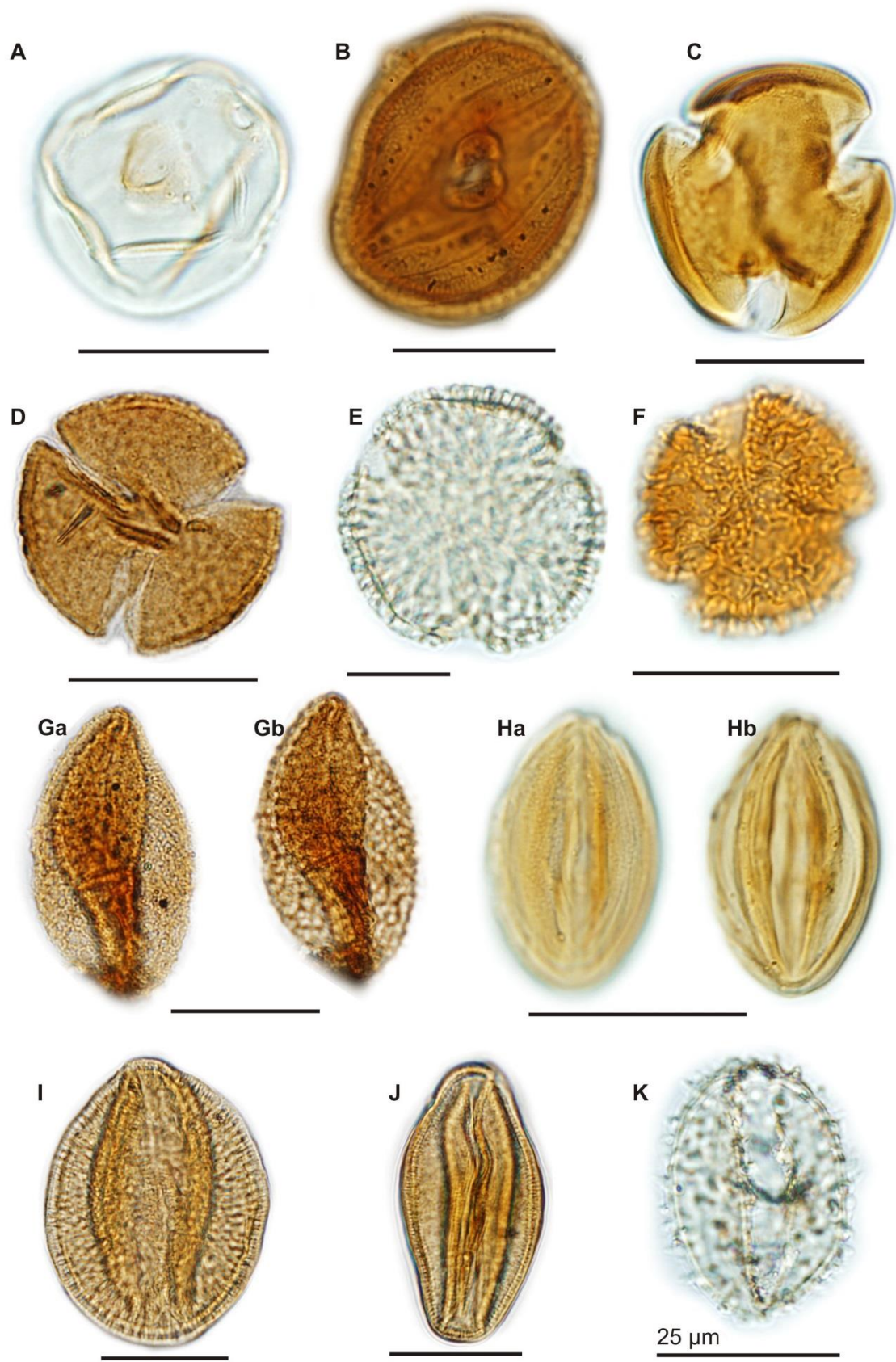


Figura 3

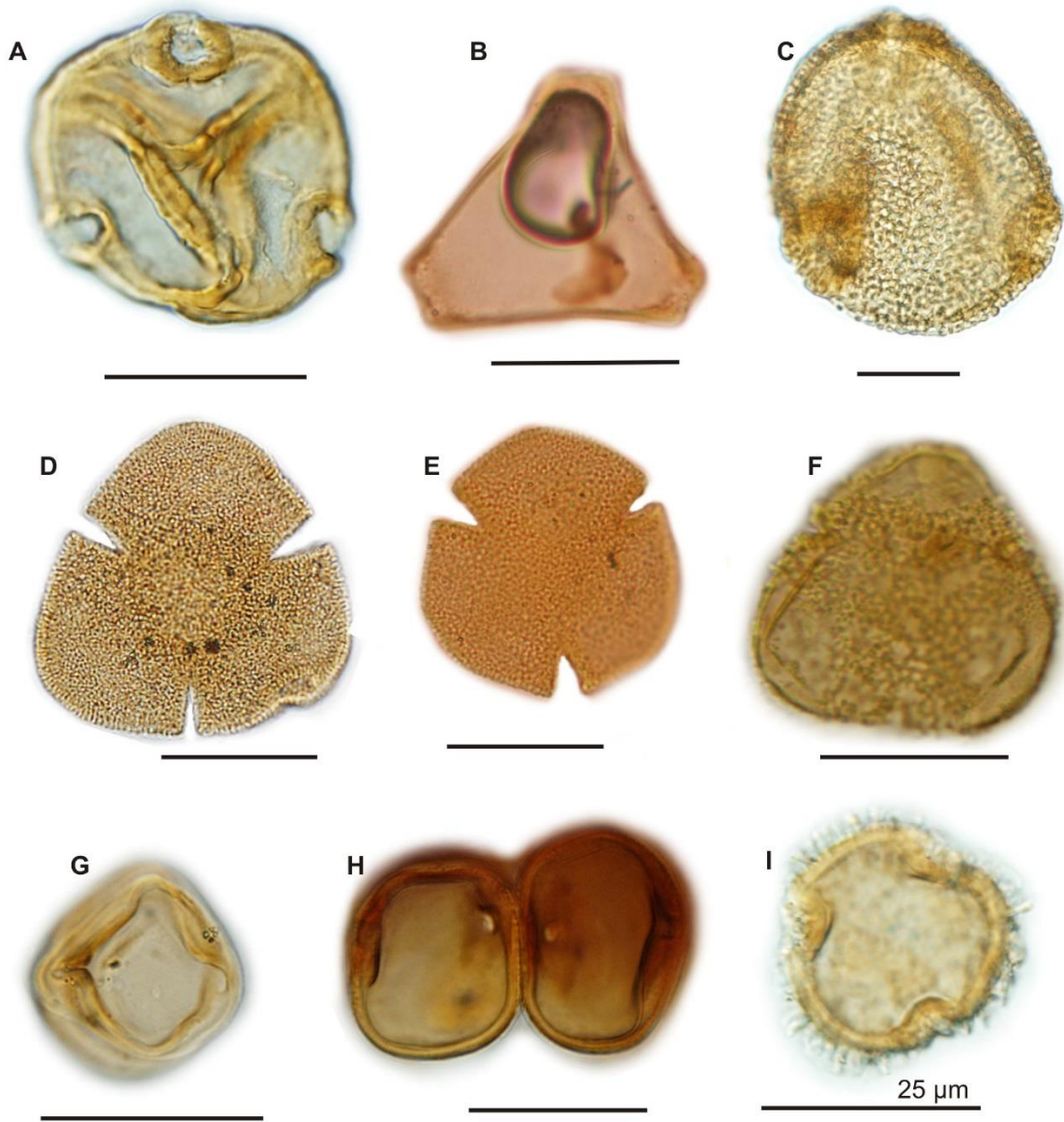


Figura 4

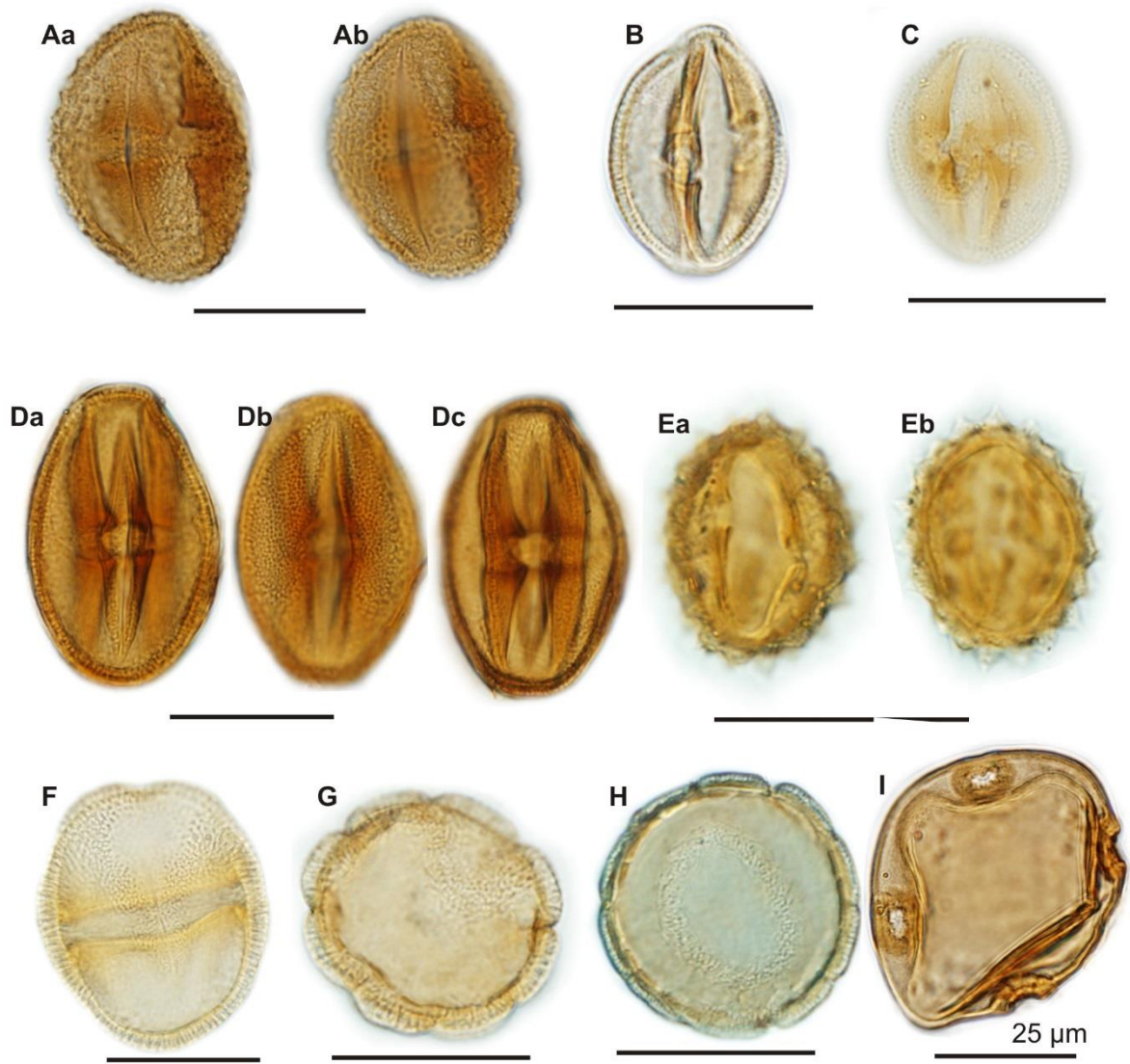


Figura 5

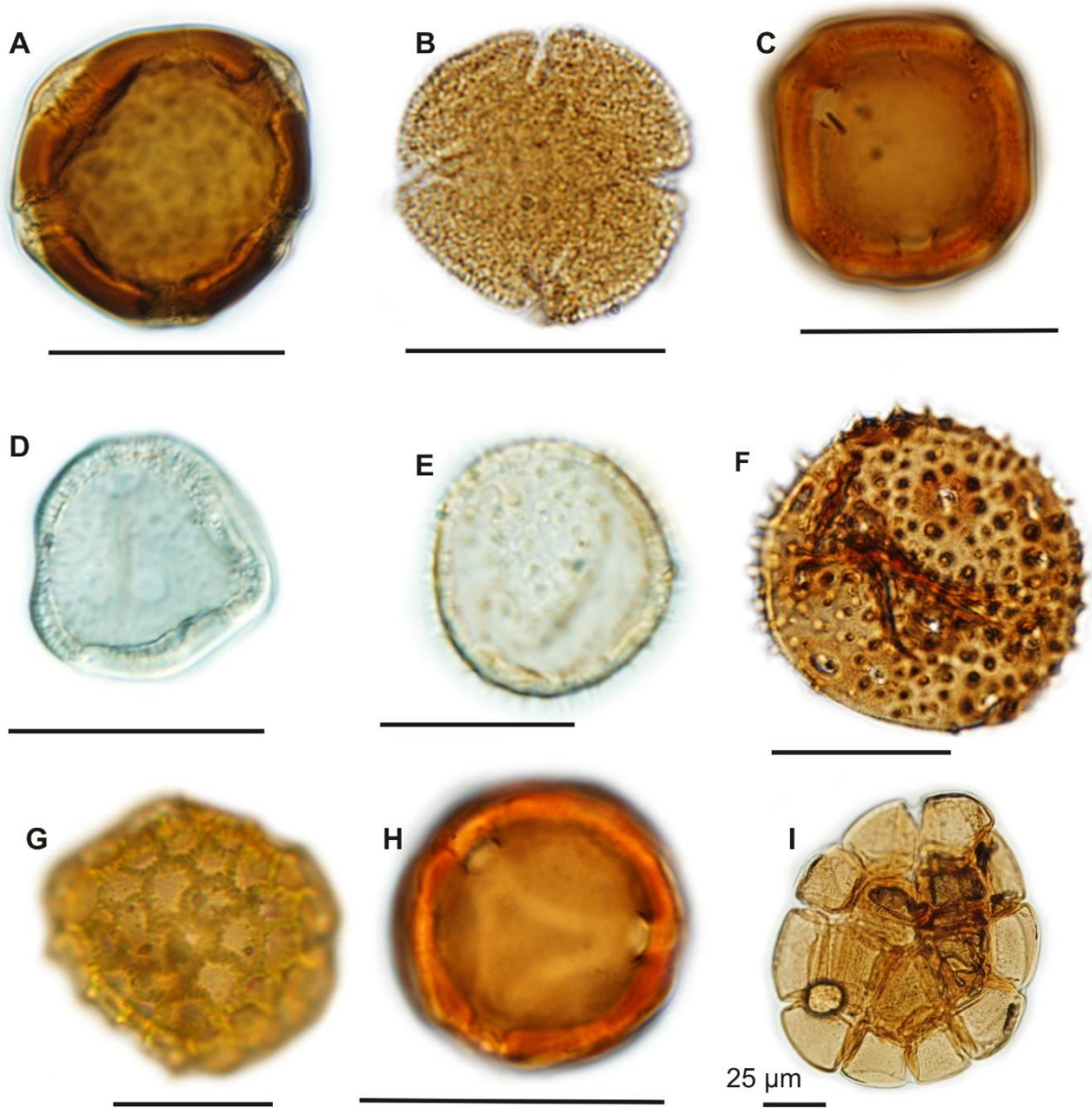


Figura 6

Táxon	Localidade/ Afloramento	Lâmina	Coordenadas <i>England Finder</i>	Ilustração (Fig.)
<i>Alnipollenites</i> sp.	Coari/P2	Am16A	K16	6.C
<i>Bombacacidites baculatus</i>	Alto Solimões/P2	MP-P 7497	G35	4.F
<i>Bombacacidites ciriloensis</i>	Alto Solimões/P1	MP-P 6765	N28	4.D
<i>Bombacacidites simpliciriloensis</i>	Coari/P2	Am5B	Q62	4.E
<i>Clavainaperturites</i> sp.	Coari/P2	Am1'A	G57	2.A
<i>Corsinipollenites undulatus</i>	Coari/P2	Am1A	L29/4	4.A
<i>Couperipollis</i> sp.	Coari/P12	Am1A	H28/2	3.K
<i>Crotonoidaepollenites reticulatus</i>	Alto Solimões/P1	MP-P 6765	N37	2.B
<i>Crototricolpites annemarie</i>	Coari/P12	Am5A	H29/2	3.E
<i>Echiperiporites akanthos</i>	Coari/P2	Am12A	D24/2	6.E
<i>Echiperiporites estelae</i>	Alto Solimões/P1	MP-P 6765	V35	6.F
<i>Echitricolporites spinosus</i>	Coari/P2	Am12A	P17	5.E
<i>Fenestrites longispinosus</i>	Coari/P12	Am6A	G31	2.G
<i>Fenestrites spinosus</i>	Coari/P2	Am18B	H27/1	2.F
<i>Fenestrites</i> sp.1	Coari/P2	Am9B	J31/3	2.I
<i>Fenestrites</i> sp.2	Coari/P2	Am9B	G31/1	2.H
Grão de pólen tricolpado indeterminado	Alto Solimões/P1	MP-P 6765	D27	3.D
<i>Grimsdalea magnaclavata</i>	Alto Solimões/P1	MP-P 6765	W38/1	2.E
<i>Jandoufouria seamrogiformis</i>	Alto Solimões/ P1	MP-P 6765	V35	6.B
<i>Mauritiidites franciscoi</i>	Coari/P12	Am3A	D35/4	2.J
<i>Monoporites annulatus</i>	Coari/P12	Am10A	Q27	3.A
<i>Multimarginites vanderhammenii</i>	Alto Solimões/P6	MP-P 10130	Q41/2-1	3.B
<i>Packydermites diderixii</i>	Coari/P2	Am2A	T23/2	6.A
<i>Paleosantalaceaepites cingulatus</i>	Coari/P9	Am2C	O30	5.F
<i>Perforitricolpites digitatus</i>	Alto Solimões/P2	MP-P 7514	N51-1	3.I
<i>Perisyncolporites pokorny</i>	Alto Solimões/P7	MP-P 7743	E36/2	6.H
<i>Persiacariapollis</i> sp.	Coari/P9	Am5A	N32/2	6.G
<i>Polyadopollenites</i> sp.	Coari/P2	Am15A	V12/4	6.I
<i>Proteacidites triangulatus</i>	Coari/P2	Am21B	P06	4.B
<i>Proxapertites tertiaria</i>	Coari/P9	Am6A	H20/1	2.C
<i>Proxapertites</i> sp.	Coari/P2	Am9A	X18	2.D
<i>Psilaperiporites minimus</i>	Coari/P2	Am1C	K6/2	6.D
<i>Psilastephanoporites tesseroporus</i>	Alto Solimões/P2	MP-P7514	L50	5.I
<i>Psilatricolpites</i> sp.	Coari/P12	Am10A	N29	3.C
<i>Psilatricolporites</i> sp. 1	Coari/P2	Am15A	L20	4.G
<i>Psilatricolporites</i> sp. 2	Coari/P2	Am14C	J24/3	4.H
<i>Retistephanocolpites gracilis</i>	Coari/P9	Am4B	F12/2	5.G
<i>Retistephanocolpites</i> sp.	Coari/P9	Am2A	M25/2	5.H
<i>Retitrescolpites baculatus</i>	Alto Solimões/P7	MP-P 7730	T40/1	3.F
<i>Retitrescolpites magnus</i>	Alto Solimões/P2	MP-P 6779	R49	3.G
<i>Retitricolpites</i> sp.	Alto Solimões/P2	MP-P 6784	H36	3.J
<i>Retitricolporites guianensis</i>	Alto Solimões/P7	MP-P 7733	N44/2	5.A
<i>Retitricolporites irregularis</i>	Coari/P2	Am12A	J30/2	4.I
<i>Retitricolporites</i> sp. 1	Coari/P12	Am1A	H32	5.B
<i>Retitricolporites</i> sp. 2	Alto Solimões/P7	MP-P 7730	R36	5.D
<i>Retitricolporites</i> sp. 3	Coari/P2	Am15A	V23/3	5.C
<i>Retitriporites dubiosus</i>	Coari/P12	Am1A	L20	4.C
<i>Striatricolpites catatumbus</i>	Coari/P2	Am12A	P23/4	3.H

Capítulo 3. 2

Artigo 2 . Palinologia (Esporos de Fungos e Pteridófitas, Grãos de Pólen de Gimnospermas, Cistos de Algas e Escolecodonte) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), Amazonas.

1 **PALINOLOGIA (ESPOROS DE FUNGOS E PTERIDOFITAS, GRÃOS**
2 **DE PÓLEN DE GIMNOPERMAS, CISTOS DE ALGAS E**
3 **ESCOLECODONTE) DAS FORMAÇÕES SOLIMÕES E IÇÁ (BACIA**
4 **DO SOLIMÕES), AMAZONAS**
5 PALYNOLOGY (FUNGI AND FERN SPORES, GIMNOSPERM POLLEN GRAINS, ALGAE
6 CYSTS AND SCOLECODONT) FROM THE SOLIMÕES AND IÇÁ FORMATIONS (SOLIMÕES
7 BASIN), AMAZONAS

8

9 Rosemery Rocha da SILVEIRA*^{1,2} & Paulo Alves de SOUZA²

10

11 ¹ Departamento de Geologia, Instituto de Ciências Exatas, UFAM. Av. General Rodrigo Jordão Ramos, 3000, 69077-000,
12 Manaus, AM, Brasil. rrsilveira@ufam.edu.br.

13

14 ² Programa de Pós-Graduação em Geociências, Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de Geociências,
15 UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500, 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. paulo.alves.souza@ufrgs.br.

16

17 **RESUMO**

18 Este trabalho faz parte da análise palinológica de 93 amostras oriundas de 12 afloramentos das formações
19 Solimões e Içá, na região de Coari (5 afloramentos), e Alto Solimões (7 afloramentos), no estado do Amazonas,
20 Brasil. Como resultado é apresentada a listagem (incluindo descrições quando necessárias) e fotomicrografias de
21 53 espécies de palinófitas, relativos a: 11 espécies de esporos de fungos, 31 de esporos de pteridófitas e 2 de
22 grãos de pólen de gimnospermas, 7 de algas clorofíceas, 1 de alga dinofíceas e 1 de escolecodonte. A composição
23 palinológica é distinta para as duas áreas analisadas, tendo na região do Alto Solimões documentação de formas
24 como *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Foveotriletes ornatos*, *Magnastriatites grandiosus* e a ocorrência de
25 um cisto de dinoflagelado, que confirma influência marinha local para a Formação Solimões. Na região de Coari
26 foi verificado predomínio de esporófitas, com grande diversidade e abundância de esporos de fungo e
27 pteridófitas, evidenciando o exclusivo contexto continental para as formações Solimões e Içá. De forma geral, os
28 espécimes apresentam boa conservação, com raros elementos quebrados ou corroídos, resultando em um registro
29 fotomicrográfico excepcional.

30

31 **Palavras-chave:** palinórfos, Neogeno, Pleistoceno, Formação Solimões, Formação Içá, Amazonas.

32

33 **ABSTRACT**

34 This work is part of the pollen analysis of 93 samples from 12 outcrops of Solimões and Içá formations, in the
35 region of Coari (5 outcrops), and Alto Solimões (7 outcrops), state of Amazonas, Brazil. As a result, a systematic
36 list (including descriptions when necessary) and photomicrographs of 53 species of palynomorphs recorded in this
37 work are presented, concerning 11 fungal spores species, 31 fern spores, 2 pollen grains gymnosperms, 7 green
38 algae, 1 dinoflagellate cyst and 1 scolecodont. The composition of both palynofloras is distinct: the Alto
39 Solimões associations include *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Foveotriletes ornatus*, *Magnastriatites*
40 *grandiosus* and *Multimarginites vanderhammenii*, as well a dinoflagellate cyst confirming the local marine
41 influence for the Solimões Formation. In the region of Coari it was recorded predominance of sporomorphs, with
42 great diversity and abundance of fungi and ferns spores, indicating a continental context for Solimões and Içá
43 formations. In general, the specimens are well preserved, rarely presenting corrosion or breaking, resulting in a
44 exceptional photomicrographic record.

45

46 **Keywords:** palinórfos, Neogene, Pleistocene, Solimões Formation, Içá Formation, Amazonas.

47

48 **1 Introdução**

49 Os estudos palinológicos dos depósitos neogenos a pré-holocenos da América do Sul, foram
50 iniciados a partir de meados do século XX (Germeraad *et al.*, 1968; Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a,
51 1974b; Cruz, 1984; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987), com um número considerável de publicações
52 realizadas nas últimas décadas. Esses estudos revelam associações palinológicas diversificadas, cuja
53 composição e padrões quantitativos têm sido significativos na resolução de problemas
54 bioestratigráficos, paleoambientais e paleoecológicas.

55 Nesse contexto, as contribuições mais numerosas no Brasil são oriundas das bacias do Rift
56 Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB), com depósitos nas bacias de São Paulo (Lima *et al.*, 1991;
57 Yamamoto, 1995; Maizatto, 2001; Bento-dos-Santos, 2005, Bento-dos-Santos, 2006a, 2006b; Garcia
58 *et al.*, 2007; D. Santos *et al.*, 2010; R. Santos *et al.*, 2012), Bonfim (Lima & Dino, 1984), Itaboraí

59 (Lima & Cunha, 1986), Resende (Lima & Amador, 1985; Lima & Melo, 1994), Tanque (Garcia *et al.*,
60 2008), Gandarela e Fonseca (Lima & Salard-Cheboldaeff, 1981; Maizatto, 2001).

61 O conhecimento sobre a paleoflora dessas idades do norte a América do Sul representada é
62 advindo dos dados palinológicos, com geração de modelos paleovegetacionais para distintos intervalos
63 de tempo (Germeraad *et al.*, 1968; Cruz, 1984; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987; Hoorn, 1993,
64 1994a, 1994b; Carvalho, 1996; Leite, 1997a, 1997b, 2006; Silveira, 2005; Silva-Caminha *et al.*, 2010,
65 Nogueira *et al.*, 2013).

66 Depósitos meso-neomiocenos na porção oeste do estado do Amazonas foram interpretados em
67 um contexto paleoambiental continental, com influência marinha episódica (Hoorn, 1993; Leite,
68 2006). Contudo um trabalho recente realizado em área muito próxima destes mencionados, contesta a
69 influência marinha para os depósitos neomiocenos (Silva-Caminha *et al.*, 2010). Associações
70 neomiocenas-pleiocenas (Cruz, 1984; R. Silveira, 2005; R. Silveira & Nogueira, 2007; Silva-Caminha
71 *et al.*, 2010; Nogueira *et al.*, 2013) e pleistocenas (R. Silveira, 2005; Nogueira *et al.*, 2013) da
72 Amazônia ocidental e central foram mais bem estudados nos últimos anos, revelando palinomorfos
73 exclusivamente continentais.

74 Assembléias bem preservadas e diversificadas foram recuperadas de amostras de afloramentos
75 das formações Solimões e Içá, nas regiões de Coari e Alto Solimões. Neste trabalho são apresentados
76 os esporos de fungos e pteridófitas, grãos de pólen de gimnospermas, cistos de algas (clorofíceas e
77 dinofíceas) e escolecodonte recuperados em seções aflorantes da região de Coari e Alto Solimões, no
78 estado do Amazonas, como contribuição para o entendimento da diversidade palinológica da região
79 entre o Mesomioceno e o Pleistoceno. As espécies de grãos de pólen de angiospermas constituem a
80 primeira contribuição dos autores, com descrições e fotodocumentação dos táxons (R. Silveira &
81 Souza, submetido).

82

83 **2 Área, Materiais e Métodos**

84 *2.1 Síntese sobre a estratigrafia*

85 A Bacia do Solimões compreende uma área de aproximadamente 440.000 km², totalmente
86 inserida no estado do Amazonas, subdividida pelo Arco de Carauari em duas sub-bacias: Juruá, a leste,

87 e Jandiatuba, a oeste. Apresenta limite ao norte com o Escudo das Guianas, a sul com o Escudo
88 Brasileiro, a oeste o Arco de Iquitos a separa da Bacia do Acre e demais bacias andinas; a leste é
89 separada da Bacia do Amazonas pelo Arco de Purus (Caputo, 1984; Eiras *et. al.*, 1994; Wanderley
90 Filho *et al.*, (2007).

91 A última sequência deposicional da bacia corresponde ao Grupo Javari, que compreende as
92 formações Alter do Chão (Cretáceo Superior), Solimões (Neogeno), separadas por discordância
93 erosiva. Terraços fluviais quaternários mais jovens recobrem localmente esta última unidade (Caputo,
94 1984; Eiras *et. al.*, 1994; Wanderley Filho *et al.*, (2007).

95 Daemon & Contreiras (1971) posicionaram a Formação Solimões entre o Paleoceno e o
96 Pleistoceno. Cruz (1984) admitiu, para a unidade na porção central da Amazônia, uma idade entre
97 Eomioceno ao Plioceno. As análises palinológicas de Hoorn (1993) revelaram conjuntos palinológicos
98 do Eomioceno ao limite Meso-Neomioceno, tendo o limite Serravaliano-Tortoniano reconhecido para
99 o trabalho de superfície na porção ocidental da Amazônia (Silveira & Souza, submetido b). Trabalhos
100 mais recentes, ambos desenvolvidos na porção ocidental e oriental da Amazônia brasileira (R. Silveira,
101 2005; R. Silveira & Nogueira, 2007; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010), apontam idades
102 compatíveis àquela estabelecida por Cruz (1984).

103 Melo & Villas Boas (1993) adotaram a denominação de Maia *et al.* (1977), para a Formação
104 Içá, para depósitos que correspondem à cobertura quaternária, constituídos de arenitos amarelo-
105 avermelhados, finos a conglomeráticos, friáveis, tipicamente continentais, que se estendem por grande
106 parte da área do Alto Rio Negro, e que na região de Coari tem sua idade representada por associação
107 palinológicas do Pleistoceno (Nogueira *et al.*, 2013).

108 INSERIR Figura 1A.

109

110 2.2 Materiais e Métodos

111 A amostragem é advinda de cinco afloramentos designados P2, P9, P11, P12 e P13,
112 localizados às margens do rio Solimões (Fig. 1B), compreendendo as áreas próximas ao município de
113 Coari, bem como sete afloramentos, nomeados de P1, P2, P4, P5, P6, P7 e P8, às margens dos rios
114 Javari e Solimões, aqui chamada de região do Alto Solimões, para as localidades adjacentes ao

115 municípios de Atalaia do Norte e Tabatinga, no estado do Amazonas (Fig. 1C). As amostras foram
116 coletadas durante o período de vazante, entre setembro e outubro de 2003 (levantamento de Coari) e
117 entre outubro e novembro de 2009 (região do Alto Solimões). As 93 amostras coletadas nas duas
118 regiões foram acondicionadas em sacos plásticos com suas respectivas identificações, transportadas
119 para o Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Amazonas para secagem, pesagem e
120 trituração. Após tratamento mecânico, 52 amostras foram encaminhadas ao Centro de Pesquisa e
121 Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES/PETROBRÁS), onde seguiram o
122 tratamento químico de acordo com Uesugui (1979). As demais 41 amostras foram tratadas no
123 Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo do Instituto de Geociências da Universidade
124 Federal do Rio Grande do Sul, onde seguiram etapas de processamento ligeiramente distintas, como
125 sintetizado por Silva *et al.* (2011). Em ambos processamentos foram empregados peneiramento com
126 malhas de 10 μ m.

127 O concentrado obtido das amostras de Coari foi utilizado para a confecção de 156 lâminas
128 palinológicas (três lâminas por nível estratigráfico) analisadas quantitativa e qualitativamente, a fim de
129 verificar a diversidade e abundância de palinomorfos. As lâminas foram arquivadas no Laboratório de
130 Paleontologia do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas. Os
131 concentrados obtidos das amostras do Alto Solimões foram utilizados para a confecção de 129 lâminas
132 palinológicas (variando de dois a quatro lâminas por nível estratigráfico), depositadas no Laboratório
133 de Palinologia Marleni Marques Toigo.

134

135 **3 Resultados**

136 Das 93 amostras processadas, 82 mostraram resultados palinológicos satisfatórios, com
137 diferentes concentrações e grau de preservação de palinomorfos. Em todos os níveis amostrados para a
138 região de Coari foram observados espécimes com baixa preservação, em particular os esporos de
139 parede psilada, e melhor preservação nos esporos de parede ornamentada. Os palinomorfos
140 provenientes da região do Alto Solimões apresentam boa preservação, raramente ocorrendo rasgados.

141 Um total de 99 táxons de palinomorfos foi reconhecido, incluindo 11 esporos de fungos, 7
142 algas, 1 escolocodonte, 1 cisto de dinoflagelado, 31 esporos de pteridófitas e 48 grãos de pólen de

143 angiospermas. Neste trabalho são apresentadas medidas, ocorrência, afinidade botânica e outras
144 informações ecológicas para todos esses palinórfos, excetuando-se aqueles relativos aos grãos de
145 pólen de angiospermas, registrados separadamente em R. Silveira & Souza (submetido a). Descrições
146 são exclusivas para aqueles com taxonomia aberta.

147 Para a sistemática dos grãos de pólen e esporos foram adotados os trabalhos de classificação
148 de H. Potonié (1893) e R. Potonié (1956, 1960). Fotomicrografias de espécimes de palinórfos
149 selecionados são apresentadas nas figuras 2 a 6. Informações sobre procedência e disposição nas
150 lâminas palinológicas constam no quadro 1.

151 INSERIR QUADRO 1 e 2

152

153 4.1 Esporos de fungos

154 Divisão EUMYCOTA

155 Classe FUNGI IMPERFECTI

156 Grupo AMEROSPORAE

157 *Monoporisorites* (Hammen) Elsik 1978

158 *Monoporisorites* sp. 1 (Figura 2.1)

159 Descrição: esporo unicelado, asseptado, colonial, monoporado, contorno circular, psilado; poro com
160 ânulo com 3 μm de diâmetro, espessura do ânulo 3-3,5 μm .

161 Dimensões (512 espécimes): menor comprimento 23 a 30 μm , maior comprimento 24 a 32 μm .

162 Afinidade biológica: Xylariaceae (Guimarães *et al.*, 2013).

163 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12, P13); e Içá (Coari, P2).

164

165 *Monoporisorites* sp. 2 (Figura 2.2)

166 Descrição: esporo unicelado, asseptado, monoporado, contorno elíptico, psilado; poro 3 μm de
167 diâmetro.

168 Dimensões (793 espécimes): menor comprimento 18 a 23 μm , maior comprimento 25 a 32 μm .

169 Afinidade biológica: Xylariaceae.

170 Observação: diferencia-se de *Monoporites* sp. 1 pelo contorno elíptico.

171 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P13) e Içá (Coari, P2).

172

173 *Monoporisorites* sp. 3 (Figura 2.3)

174 Descrição: esporo unicelado, asseptado, monoporado, com contorno elíptico, psilado; poro com 5 μm
175 de diâmetro.

176 Dimensões (190 espécimes): menor comprimento 47 a 50 μm , maior comprimento 70 a 75 μm .

177 Afinidade biológica: Xylariaceae.

178 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P13) e Içá (Coari: P2)

179

180 *Foveodiporites* Varma & Rawat 1963

181 *Foveodiporites* sp. (Figura 2.4)

182 Descrição: esporo unicelado, asseptado, diporado, com contorno elíptico; parede espessa e
183 ornamentada por granulação incipiente por todo o esporo; presença de poros nas extremidades opostas.

184 Dimensões (6 espécimes): menor comprimento 20 a 23 μm , maior comprimento 47 a 52 μm .

185 Afinidade biológica: desconhecida.

186 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2).

187

188 *Fusiformisorites* Rouse 1962

189 *Fusiformisorites crabbii* Rouse 1962 (Figura 2.5)

190 Dimensões (137 espécimes): menor comprimento 20 μm , maior comprimento 40 μm .

191 Afinidade biológica: *Cookeina*, Sarcoscyphaceae (Kalgutkar & Sigler, 1995; Kalgutkar & Jansonius,
192 2000).

193 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P13) e Içá (Coari: P2).

194

195 *Mediaverrusporonites* Jarzen & Elsik 1986

196 *Mediaverrusporonites elsiki* Nandi & Sinha 2007 (Figura 2.7)

197 Dimensões (109 espécimes): menor comprimento 22 μm ; maior comprimento 50 μm .

198 Afinidade biológica: desconhecida.

199 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2) e Içá (Coari: P2).

200

201 *Meliolinites* Selkirk 1975

202 *Meliolinites* sp. (Figura 2.10)

203 Descrição: esporo multicelado, cinco células de tamanhos irregulares, com 4 septos, contorno elíptico,
204 com duas extremidades arredondadas, ornamentação psilado.

205 Dimensões (183 espécimes): menor comprimento 23 μm , maior comprimento 62 μm .

206 Afinidade biológica: desconhecida.

207 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9) e Içá (Coari: P2).

208

209 *Quilonia* Jain & Gupta 1970

210 *Quilonia* sp. (Figura 2.11)

211 Descrição: esporo multicelado, sete células de tamanhos irregulares, com 6 septos, contorno elíptico,
212 com uma extremidade arredondada e outra afilada, ornamentação psilada.

213 Dimensões (127 espécimes): maior comprimento 52 μm , menor comprimento 20 μm .

214 Afinidade biológica: relaciona-se aos gêneros *Corynespora*, *Sporidesmium*, *Cladosporium*,

215 *Clasterosporim* (V. Silveira, 1981).

216 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P12, P13) e Içá (Coari, P2).

217

218 *Diporicellaesporites* Elsik 1968

219 *Diporicellaesporites* sp. 1 (Figura 2.8)

220 Descrição: esporo de fungo tetracelado, com 3 septos, contorno elíptico, psilado; poros em cada
221 extremidade.

222 Dimensões (3 espécimes): menor comprimento 16 a 18 μm , maior comprimento 26 a 28 μm .

223 Afinidade biológica: desconhecida.

224 Ocorrência: Formação Içá (Coari: P2).

225

226 *Diporicellaesporites* sp. 2 (Figura 2.9)

227 Descrição: esporo de fungo tetracelado, com 3 septos, contorno elíptico, superfície granulada,
228 terminações mais claras e alongadas; poros em cada extremidade.

229 Dimensões (1 espécime): menor comprimento 25 µm, maior comprimento 63 µm.

230 Afinidade biológica: desconhecida.

231 Ocorrência: Formação Içá (Coari: P2).

232

233 Esporo de fungo indeterminado (Figura 2.6)

234 Descrição: esporo de fungo tricelado, com 2 septos, contorno elíptico, psilado; um poro em cada
235 extremidade do esporo, com célula central mais escura.

236 Dimensões (12 espécimes): menor comprimento 19 a 22 µm, maior comprimento 27 a 32 µm.

237 Afinidade biológica: desconhecida.

238 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2) e Içá (Coari: P2).

239

INSERIR FIGURA 2

240

241 *4.2 Esporos de pteridófitas*

242 Divisão SPORITES Potonié 1893

243 Classe TRILETES Reinsch 1881 emend. Potonié & Kremp 1954

244 *Cyathidites* Couper 1953

245 *Cyathidites* sp. 1 (Figura 3.3)

246 Descrição: grão de esporo simples, de tamanho médio, trilete, com exina psilada; radiosimétrico,
247 âmbito triangular de lados côncavos e vértices arredondados, laesura com aproximadamente $\frac{3}{4}$ do raio
248 do esporo.

249 Dimensões (322 espécimes): diâmetro equatorial 28(36)44 µm, exina 0,5-0,7 µm de espessura.

250 Observações: a forma é parecida com *Concavissimisporites* sp. de Singh (1964), todavia não apresenta
251 superfície ondulada.

252 Afinidade botânica: Cyatheaceae, *Cyathea* (Tryon & Tryon, 1982).

253 Informações ecológicas: as Cyatheaceae atuais são comuns em áreas montanhosas; a família ocorre
254 como samambaias terrestres, muitas vezes de hábito arbóreo e, menos comumente, como epífitas ou
255 trepadeiras (Tryon & Tryon, 1982).

256 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13) e Içá (Coari: P2).

257

258 *Cyathidites* sp. 2 (Figura 3.4)

259 Descrição: grão de esporo simples, médio, trilete, com exina psilada; radiossimétrico, âmbito
260 triangular de lados levemente côncavos ou convexos e vértices arredondados, laesura com
261 aproximados $\frac{3}{4}$ do raio do esporo.

262 Dimensões (436 espécimes): diâmetro equatorial 32(40)48 μm , exina 0,5-0,7 μm de espessura.

263 Observações: é correspondente a *Psilatritele* sp. 3 de Banerjee (1966). O termo *Psilatritele* foi
264 introduzido por Van der Hammen (1956) para todas as formas triletes psiladas, todavia para Potonié
265 (1960) o termo *Psilatrites* é inválido.

266 Afinidade botânica: Cyatheaceae (*Cyathea*).

267 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13) e Içá (Coari: P2).

268

269 *Cyathidites* sp. 3 (Figura 3.2)

270 Descrição: grão de esporo simples, médio, trilete, com exina psilada; radiossimétrico, âmbito
271 triangular de lados levemente côncavos ou convexos e vértices arredondados, laesura com
272 aproximados $\frac{3}{4}$ do raio do esporo.

273 Dimensões (2 espécimes): diâmetro equatorial 32 a 48 μm ; exina 0,5 a 0,7 μm de espessura.

274 Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P6).

275

276 *Deltoidospora* Miner 1935

277 *Deltoidospora adriennis* (Potonié & Gelletich 1933) Fredericksen 1983 (Figura 3.1)

278 Dimensões (2380 espécimes): diâmetro equatorial 40(48)58 μm , exina de 0,5 a 0,7 μm de espessura.

279 Registros prévios: Brasil (Lima *et al.*, 1985; Hoorn, 1993; Leite, 2004, 2006; Latrubesse *et al.*, 2007;

280 Santos *et al.*, 2010; Silva-Caminha *et al.*, 2010).

- 281 Afinidade botânica: Pteridaceae, *Acrostichum aureum* (Lorente, 1986).
- 282 Informações ecológicas: *Acrostichum aureum* é uma samambaia halófito associada à vegetação de
283 mangue (Medina *et al.*, 1990).
- 284 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13; Alto Solimões: P1, P2, P4, P5, P6, P7 e
285 P8) e Içá (Coari: P2).
- 286
- 287 *Kuylisporites* Potonié 1956
- 288 *Kuylisporites waterbolki* Potonié 1956 (Figura 3.5)
- 289 Dimensões (126 espécimes): diâmetro equatorial: 26(32)38 µm.
- 290 Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a, 1974b; Hoorn, 1993, 1994a; Silva-Caminha *et al.*,
291 2010) e Venezuela (Lorente, 1986).
- 292 Afinidade botânica: Cyatheaceae, *Hemitelia* (Lorente, 1986).
- 293 Informações ecológicas: Para Lorente (1986), este táxon corresponde a *Hemitelia grandifolia*, que
294 ocorre em florestas tropicais montanhosas.
- 295 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13; Alto Solimões: P1).
- 296
- 297 *Foveotriletes* Potonié 1956
- 298 *Foveotriletes ornatos* Regali *et al.* 1974a (Figura 3.6)
- 299 Dimensões (3 espécimes): diâmetro equatorial 32 a 34 µm.
- 300 Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a, 1974b) e Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).
- 301 Afinidade botânica: desconhecida.
- 302 Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P1).
- 303
- 304 *Psilatriletes* Potonié 1956
- 305 *Psilatriletes peruanus* Hoorn 1994b (Figura 3.7)
- 306 Descrição: esporo simples, radialmente simétrico, triangular-convexo, trilete, psilado, comissura
307 erguida, lados convexos e ápices arredondados, margem espessa, distinta; cingulado, cingulo de 5-7
308 µm de espessura; laesura bem marcada.

- 309 Dimensões (124 espécimes): diâmetro equatorial 40(44)48 µm.
- 310 Registros prévios: Brasil, Colômbia e Peru (Hoorn, 1994a, 1994b).
- 311 Afinidade botânica: Pteridaceae, *Pteris rangiferina* (Hoorn, 1993).
- 312 Informações ecológicas: ocorrência desde planícies até altas altitudes, terrestres ou epilíticas,
- 313 raramente fetos aquáticos (Lorente, 1986).
- 314 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13; Alto Solimões: P2, P4, P5, P7 e P8).
- 315
- 316 *Cyatheacidites* Cookson 1947 emend. Potonié 1956
- 317 *Cyatheacidites annulatus* Cookson 1947 (Figura 3.9)
- 318 Dimensões (95 espécimes): diâmetro equatorial 54(58)62 µm.
- 319 Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a, 1974b; Carvalho, 1996; Garcia *et al.*, 2008), Venezuela
- 320 (Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987).
- 321 Afinidade botânica: Dicksoniaceae, *Losophoria quadripinnata* (Lorente, 1986).
- 322 Informações ecológicas: *Losophoria* é feto arborescente encontrado, atualmente, desde Cuba até o
- 323 Chile (Hill *et al.*, 2001).
- 324 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2) e Içá (Coari: P2).
- 325
- 326 *Cingulatisporites* Thomson emend. Potonié 1956
- 327 *Cingulatisporites* sp. (Figura 3.8)
- 328 Descrição: esporo trilete, simetria radial, âmbito subcircular, presença de cingulo restrita aos lados do
- 329 grão; espessura do cingulo 5-7 µm.
- 330 Dimensões (48 espécimes): diâmetro equatorial 30(36)42 µm.
- 331 Registros prévios: Brasil (Carvalho, 1996) e Venezuela (Lorente, 1986).
- 332 Afinidade botânica: Pteridaceae, *Pteris* (Lorente, 1986).
- 333 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13; Alto Solimões: P1, P2 e P6).
- 334
- 335 *Polypodiaceoisporites* Potonié 1956
- 336 *Polypodiaceoisporites potonie* Kedves 1961 (Figura 3.10)

337 Dimensões (118 espécimes): diâmetro equatorial 48(55)62 µm.
338 Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a; Lima & Salard-Chebouldaëff, 1981;
339 Hoorn, 1993; Lima & Melo, 1994; Yamamoto, 1995; Maizatto, 2001; Leite, 2004).
340 Afinidade botânica: Pteridacea, *Pteris* (Lorente, 1986).
341 Informações ecológicas: ocorre desde o nível do mar até as altas altitudes dos Andes (Lorente, 1986).
342 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13; Alto Solimões: P2, P4, P7 e P8) e
343 Içá (P2).

344 INSERIR FIGURA 3

345
346 *Polypodiaceoisporites pseudopsilatus* Lorente 1986 (Figura 4.1)
347 Dimensões (11 espécimes): diâmetro equatorial 28(31)34 µm.
348 Registro prévio: Venezuela (Lorente, 1986).
349 Afinidade botânica: Pteridaceae, *Pteris rangiferina* (Lorente, 1986).
350 Informações ecológicas: diferentes tipos de *Pteris* foram listados por Posthumus (1929 *apud* Lorente,
351 1986) em áreas a montante de montanhas. Especificamente *Pteris rangiferina*, usada para comparação,
352 foi coletada da Ilha de Java, Indonésia, em altitudes de 1350 a 1800 m (Lorente, 1986).
353 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2 e P9) e Içá (Coari: P2).

354
355 *Verrucatotriletes* Van Hoeken-Klinkenberg 1964
356 *Verrucatotriletes bullatus* Van Hoeken-Klinkenberg 1964 (Figura 4.4)
357 Dimensões (243 espécimes): diâmetro equatorial 28(35)42 µm.
358 Registros prévios: Brasil (Hoorn, 1994b; Garcia *et al.*, 2008).
359 Afinidade botânica: desconhecido.
360 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9 e P12) e Içá (P2).
361
362 *Verrucatotriletes* sp. 1 (Figura 4.2)

363 Descrição: esporo simples, médio, radialmente simétrico, trilete; ornamentação verrucosa, com
364 verrugas de 1,5-2,5 µm de altura e com distintos diâmetros (1-4 µm), que se distribuem em suaves
365 ondulações; laesura quase atinge a área angular.

366 Dimensões (594 espécimes): diâmetro equatorial 28(33)38 µm.

367 Observação: diferencia-se de *Verrucatotriletes bullatus* por apresentar verrugas mais baixas e com
368 menor uniformidade de distribuição.

369 Afinidade botânica: desconhecida.

370 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13) e Içá: (Coari: P2).

371

372 *Verrucatotriletes* sp. 2 (Figura 4.3)

373 Descrição: esporo simples, grande, radialmente simétrico, trilete, verrucoso, verrugas de tamanho 1,5-
374 2,5 µm e diâmetro de 1,5-2,5 µm, uniforme; laesura com aproximadamente $\frac{3}{4}$ do raio do esporo.

375 Dimensões (617 espécimes): diâmetro equatorial 48(54)60 µm.

376 Observações: difere de *Verrucatotriletes bullatus* pelo tamanho e tipos de verrugas.

377 Afinidade botânica: desconhecida.

378 Ocorrência: Formações Solimões: (Coari: P2, P9, P12 e P13) e Içá: (Coari: P2).

379

380 *Striatriletes* Potonié 1956

381 *Striatriletes saccolomoides* Jaramillo *et al.* 2011 (Figura. 4.5a,b)

382 Dimensões (6 espécimes): diâmetro equatorial 34 a 40 µm.

383 Registro prévio: Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011).

384 Afinidade botânica: Dennstaedtiaceae, *Saccoloma* (Jaramillo *et al.*, 2010).

385 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P13; Alto Solimões: P1).

386

387 *Crassoretitriletes* Germeraad *et al.* 1968

388 *Crassoretitriletes vanraadshooveni* Germeraad *et al.* 1968 (Figura 4.6a,b)

389 Dimensões (599 espécimes): diâmetro equatorial 58(80)102 µm.

- 390 Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1971; Regali *et al.*, 1974a, 1974b, Lima & Angulo, 1990;
391 Carvalho, 1996; Hoorn, 1993, 1994b, 2006; Leite *et al.*, 1997a, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010),
392 Índia (Rao, 1995; Mandaokar & Mukherjee, 2012), Venezuela (Germeraad *et al.*, 1968) e Colômbia
393 (Jaramillo *et al.*, 2011).
- 394 Afinidade botânica: Schizaceae, *Lygodium microphyllum* (Hoorn, 1993).
- 395 Informações ecológicas: *Lygodium microphyllum* é uma samambaia trepadeira comum em pântanos e
396 florestas úmidas do oeste da África e Indo-Malásia; também relacionada a pântanos costeiros (Hoorn,
397 1993).
- 398 Ocorrência: Alto Solimões (P1, P2, P4, P5, P6, P7 e P8).
- 399
- 400 *Magnastriatites* Germeraad *et al.* 1968
- 401 *Magnastriatites grandiosus* (Kedves & Sole de Porta 1963) Dueñas 1980 (Figura 4.7)
- 402 Dimensões (958 espécimes): diâmetro equatorial 78(89)102 µm.
- 403 Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Hoorn, 1993; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010), Caribe
404 e Colômbia (Germeraad *et al.*, 1968).
- 405 Afinidade botânica: Pteridaceae, *Ceratopteris* (Hoorn, 1993).
- 406 Informações ecológicas: *Ceratopteris* é uma pequena samambaia aquática que ocorre em águas rasas
407 de lagos, rios de planícies aluviais e pântanos costeiros (Germeraad *et al.*, 1968; Lorente, 1986; Hoorn,
408 1993; Jaramillo *et al.*, 2010).
- 409 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13; Alto Solimões: P1, P2, P4, P5, P6, P7 e
410 P8) e Içá (Coari: P2).
- 411
- 412 *Cicatricosisporites* Potonié & Gelletich 1933
- 413 *Cicatricosisporites* sp. (Figura 4.8)
- 414 Descrição: esporo simples, grande, radialmente simétrico, anisopolar, com arredondamento nas faces e
415 vértices, trilete, com estrias grossas (1-2 µm de altura e 2-3,5 µm de largura), mais proeminentes na
416 região angular.
- 417 Dimensões (17 espécimes): diâmetro equatorial 72(85)98 µm.

418 Afinidade botânica: Pteridaceae (Germeraad *et al.*, 1968).

419 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2) e Içá (Coari: P2).

420

421 *Echitriletes* Potonié 1956

422 *Echitriletes muelleri* Regali *et al.* 1974a, 1974b (Figura 4.9)

423 Dimensões (73 espécimes): diâmetro equatorial 32(35)38 µm.

424 Registros prévios: Brasil (Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a, 1974b; Hoorn, 1993; Leite, 2004; Santos
425 *et al.*, 2010).

426 Afinidade botânica: Selaginellaceae, *Selaginella* (Lorente, 1986).

427 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13; Alto Solimões: P1 e P7) e Içá
428 (Coari: P2).

429 **INSERIR FIGURA 4**

430

431 Classe MONOLETES Ibrahim 1933

432 *Laevigatosporites* Ibrahim 1933

433 *Laevigatosporites vulgaris* Potonié 1934 (Figura 5.1)

434 Dimensões (66 espécimes): eixo longitudinal 57(64)71 µm, eixo transversal 30(34)38 µm.

435 Registro prévio: Venezuela (Rull, 2003).

436 Afinidade botânica: Polypodiaceae, *Polypodium* (Jaramillo *et al.*, 2010).

437 Informações ecológicas: *Polypodium* é produzido por tipos distintos de samambaias (Lorente, 1986),
438 que habitam regiões variadas; comumente encontrados em ambientes deltaicos, em áreas de mangue,
439 sendo menos recorrente na faixa costeira.

440 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13) e Içá (Coari: P2).

441

442 *Laevigatosporites* sp. 1 (Figura 5.2)

443 Descrição: esporo simples, grande, simetria bilateral, elíptico (em vista polar), com lado distal

444 convexo e lado proximal ligeiramente côncavo, monoletes, psilado; eixo longitudinal de proporção 1,5

445 maior que o eixo transversal; laesura distinta, variando de 40-70% do comprimento do esporo; exina
446 2-4 µm de espessura.

447 Dimensões (51 espécimes): maior eixo 57(72)82 µm, menor eixo 29(35)41 µm.

448 Afinidade botânica: Polypodiaceae, *Polypodium*.

449 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2) e Içá (Coari: P2).

450

451 *Laevigatosporites* sp. 2 (Figura 5.3)

452 Descrição: esporo simples, médio, simetria bilateral, elíptico, com lado distal convexo e lado proximal
453 ligeiramente côncavo, monoletes, psilado; eixo longitudinal de proporção 0,5 maior que o eixo
454 transversal; laesura distinta, 65-75% do comprimento do esporo, exina 0,5-1,0 µm de espessura.

455 Dimensões (41 espécimes): maior eixo 20(22)24 µm, menor eixo 10(12)14 µm.

456 Afinidade botânica: Polypodiaceae (*Polypodium*).

457 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13; Alto Solimões: P2) e Içá (Coari: P2).

458

459 *Laevigatosporites* sp. 3 (Figura 5.4)

460 Descrição: esporo simples, pequeno, com simetria bilateral, elíptico, com lado distal convexo e lado
461 proximal côncavo, monolete, psilado; eixo longitudinal de proporção 1,5 maior que o eixo transversal;
462 laesura distinta, variando de 75-90% do comprimento do esporo, exina 0,5-1, 0 µm de espessura.

463 Dimensões (87 espécimes): eixo maior 38(40)42 µm, menor eixo 12(18)24 µm.

464 Afinidade botânica: Polypodiaceae (*Polypodium*).

465 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13) e Içá (Coari: P2).

466

467 *Laevigatosporites* sp. 4 (Figura 5.5)

468 Descrição: esporo simples, médio, com simetria bilateral, elíptico, com lado distal convexo e lado
469 proximal côncavo, monoletes, psilado; eixo longitudinal de proporção 2,0 maior que o eixo
470 transversal; laesura distinta, variando de 65-80% do comprimento do esporo, exina 0,5 - 1,0 µm de
471 espessura.

472 Dimensões (87 espécimes): eixo maior 38(40)42 µm, menor eixo 16(20)24 µm.

- 473 Afinidade botânica: Polypodiaceae (*Polypodium*).
- 474 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13) e Içá (Coari: P2).
- 475
- 476 *Polypodiisporites* Potonié 1956 emend. Khan & Martin 1971
- 477 *Polypodiisporites radiatus* Pocknall & Mildenhall 1984 (Figura 5.6)
- 478 Dimensões (1349 espécimes): maior eixo 47(54)61 µm, menor eixo 22(26)30 µm.
- 479 Afinidade botânica: provavelmente Polypodiaceae.
- 480 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2, P9 e P12).
- 481
- 482 *Verrucatosporites* Thomson & Pflug 1953
- 483 *Verrucatosporites usmensis* (Van der Hammen 1956) Germeraad *et al.* 1968 (Figura 5.7)
- 484 Dimensões (291 espécimes): eixo maior 48(53)58 µm, eixo menor 22(26)30 µm.
- 485 Registros prévios: Brasil (Regali *et al.*, 1974a, 1974b; Lima & Angulo, 1990; Lima *et al.*, 1991;
- 486 Hoorn, 1993, 1994a, 1994b; Santos *et al.*, 2010), Colômbia (Jaramillo *et al.*, 2011), Venezuela
- 487 (Germeraad *et al.*, 1968).
- 488 Afinidade botânica: Polypodiaceae, *Stenochlaena palustris* (Germeraad *et al.*, 1968; Playford, 1982).
- 489 Informações ecológicas: forma terrestre, raramente samambaias aquáticas, que ocorrem desde a
- 490 planície à floresta de montanha.
- 491 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P11 e P13; Alto Solimões: P1, P2, P4, P6, P7 e P8).
- 492
- 493 *Verrucatosporites favus* (Potonié 1931) Thomson & Pflug 1953 (Figura 5.8)
- 494 Dimensões (751 espécimes): maior eixo 32(38)43,5 µm, menor eixo 20(28)37 µm.
- 495 Registro prévio: Polônia (Worobiec, 2009).
- 496 Afinidade botânica: Dennstaedtiaceae (Worobiec, 2009).
- 497 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13) e Içá (Coari: P2).
- 498
- 499 *Verrucatosporites* sp. 1 (Figura 5.9)

500 Descrição: esporo simples, médio, heteropolar, com simetria bilateral, monoete, verrucoso; contorno
501 elíptico (em vista polar) e côncavo-convexo (em vista equatorial), com verrugas robustas,
502 irregularmente distribuídas por toda a superfície do grão, com diminuição no tamanho em direção ao
503 polo proximal.

504 Dimensões (104 espécimes): maior eixo 32(40)48 μm , menor eixo 16(20)24 μm .

505 Afinidade botânica: Polypodiaceae.

506 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9 e P12) e Içá (Coari: P2).

507

508 *Verrucatosporites* sp. 2 (Figura 5.10)

509 Descrição: esporo simples, médio, heteropolar, com simetria bilateral, monoletes, verrucoso. Elíptico
510 (em vista polar) e côncavo-convexo (em vista equatorial); verrugas pequenas, 1,5-2,5 μm de altura e
511 diâmetro, uniformemente distribuídas.

512 Dimensões (18 espécimes): maior eixo 36(42)48 μm , menor eixo 18(21)24 μm .

513 Afinidade botânica: Polypodiaceae.

514 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9 e P12) e Içá (Coari: P2).

515

516 *Perinomonoletes* Krutzsch 1967

517 *Perinomonoletes* sp. (Figura 5.11)

518 Dimensões (17 espécimes): maior eixo 33(35)38 μm , menor eixo 16(18)20 μm .

519 Registros prévios: Brasil (Hoorn, 1993; Leite, 2004, 2006) e Venezuela (Rull, 2001).

520 Afinidade botânica: Aspleniaceae, *Asplenium* ou Thelypteraceae, *Thelypteris* (Hoorn, 1993).

521 Ocorrência: Formações Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13) e Içá (Coari: P2).

522

523 4.3 Grãos de pólen de Gimnospermas

524 Classe VESICULATAE Iversen & Troels-Smith 1950

525 *Podocarpidites* sp. 1 (Figura 5.12)

526 Descrição: grão de pólen mônade, vesiculado (bissacado), grande, heteropolar, com simetria bilateral,
527 corpo central aproximadamente esferoidal com leptoma no polo distal; sacos aéreos com retículo de
528 malhas irregulares.

529 Dimensões (83 espécimens): comprimento total (incluindo os sacos) de 65(75)85 μm ; diâmetro do
530 corpo central 18(27)36 μm ; altura dos sacos 47(48)49 μm .

531 Afinidade botânica: Podocarpaceae, *Podocarpus* (Hoorn, 1993).

532 Informações ecológicas: constituem árvores e arbustos comuns na região andina.

533 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P9, P11, P12 e P13; Alto Solimões: P1).

534

535 *Podocarpidites* sp. 2 (Figura 5.13)

536 Descrição: grão de pólen mônade, vesiculado (bissacado), médio, heteropolar, com simetria bilateral,
537 corpo central aproximadamente esferoidal com leptoma no polo distal; sacos aéreos com retículo de
538 malhas irregulares.

539 Dimensões (25 espécimens): comprimento total (incluindo os sacos) de 64(70)76 μm ; diâmetro do
540 corpo central 16(22)28 μm ; altura dos sacos 26(31)36 μm .

541 Afinidade botânica: Podocarpaceae (*Podocarpus*).

542 Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P1, P2 e P7).

543 **INSERIR FIGURA 5**

544

545 4.4 Algas clorofíceas

546 Divisão CHLOROPHYTAE

547 Classe CHLOROPHYCEAE

548 *Pediastrum* Meyen 1829

549 *Pediastrum* sp. 1 (Figura 6.1)

550 Descrição: cenóbio compacto, com células unidas umas as outras, formando anel com 8 células
551 simples.

552 Dimensões (217 espécimens): diâmetro total 62-82 μm , larguras das células 4,5 -5,5 μm e comprimento
553 do processo 15-22 μm .

554 Afinidade botânica: Ordem Chlorococcales, Família Hydrodictyaceae (Meyen, 1829).

555 Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P2, P7).

556 Observação: todos os espécimens relacionados ao gênero *Pediastrum* apresentadas aqui, foram
557 verificadas utilizando microscopia óptica sob a luz fluorescente.

558

559 *Pediastrum* sp. 2 (Figura 6.2)

560 Descrição: cenóbio compacto, com células inteiramente unidas umas às outras, formando um anel com
561 6 células e unidas a duas célula centrais, as células são bifurcadas no anel e com quatro pontas nas
562 células centrais.

563 Dimensões (82 espécimes): diâmetro total 35-42 μm , largura das células 5-6 μm e comprimento do
564 processo 5-6 μm .

565 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13; Alto Solimões: P2 e P7).

566

567 *Pediastrum* sp. 3 (Figura 6.3)

568 Descrição: cenóbio compacto, com células inteiramente unidas umas às outras, formando 2 anéis, com
569 5 células no primeiro anel, e 10 células no segundo, sendo unidas a uma célula central, as células são
570 bifurcadas no segundo anel, com quatro pontas no primeiro anel.

571 Dimensões (32 espécimes): diâmetro total 40-45 μm , largura das células 3-5,5 μm e comprimento do
572 processo 3-5,5 μm .

573 Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P2 e P7).

574

575 *Pediastrum* sp. 4 (Figura 6.4)

576 Descrição: cenóbio tipo compacto, as células são inteiramente unidas umas as outras, formando 3
577 anéis, com 6 células no primeiro anel, 8 células no segundo, 22 células no terceiro, sendo unidas a 2
578 células centrais; as células são bifurcadas no anel segundo anel, com 4 pontas no primeiro anel.

579 Dimensões (4 espécimes): diâmetro total 45-50 μm , largura das células 2,5 -3,5 μm e comprimento do
580 processo 2,5-3,5 μm .

581 Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P2 e P7).

582

583 *Pseudoschizaea* Thiergart & Frantz 1962584 *Pseudoschizaea circulus* Christopher 1976 (Figura 6.5)585 Dimensões (74 espécimes): diâmetro de 38(40)42 μm .

586 Afinidade biológica: cisto de alga de água doce, relacionada à Zygnemataceae, mas podem apresentar

587 relação com as algas Oedogoniaceae (Scaphati *et al.*, 2009). O gênero-forma ocorre ocasionalmente

588 em sedimentos de águas rasas subtropicais (Davis, 1992). Para Carrión & Navarro (2002), os cistos de

589 *Pseudoschizaea* habitam zonas climáticas relativamente quentes com fases de dessecação ou maior

590 seca de verão (secagens sazonais locais).

591 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13).

592

593 *Pseudoschizaea* sp. (Figura 6.6)

594 Descrição: formas circulares a ovais em vista polar, biconvexas em vista equatorial, inaperturados;

595 cada hemisfério com séries de 5 a 12 estrias ao redor da área polar, concêntrica, formam anéis, que

596 podem ser completos, incompletos, bifurcados ou em arranjo em espiral.

597 Dimensões (212 espécimes): diâmetro de 42(50)58 μm .

598 Afinidade biológica: cisto de alga de água doce, relacionada à Zygnemataceae, mas podem apresentar

599 relação com as algas Oedogoniaceae (Scaphati *et al.*, 2009).

600 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2, P9, P12 e P13).

601

602 *Ovoidites* Potonié 1951603 *Ovoidites* sp. (Figura 6.7)

604 Descrição: esporo elíptico em vista equatorial, rompido em duas partes iguais no equador; parede

605 psilada, com 0,5 μm de espessura.606 Dimensões (148 espécimes): diâmetro equatorial 20-35 μm , eixo polar 24-28 μm .607 Afinidade biológica: segundo Van Geel & Van der Hammen (1978), tanto *Ovoidites* quanto608 *Schizosporis* representam esporos de Zygnemataceae relacionados com o gênero atual *Spirogyra*.

609 Ocorrência: Formação Solimões (Coari: P2, P9, P11, P12 e P13).

610 4.5 Alga dinofíceia

611 Divisão DINOFLAGELATA (Bütschli, 1885) Fensome *et al.* 1993

612 Classe DINOPHYCEAE Pascher 1914

613 *Diphyes* Cookson 1965

614 *Diphyes latiusculus* Matsuoka 1974 (Figura 6.9)

615 Dimensão (1 espécime): diâmetro do corpo central de 45 µm x 52 µm. Comprimento do processo

616 antapical 18 µm, largura do processo antapical 9 µm.

617 Ocorrência: Formação Solimões (Alto Solimões: P7).

618

619 4.6 Fragmento de invertebrado

620 Escolocodonte indeterminado (Figura 6.8)

621 Descrição: representado por um conjunto de mandíbula inferior e superior, robusta, com estrutura

622 dentiforme, variando de 3 a 4 dentes.

623 Dimensões (1 espécime): mandíbula 47,5 µm, dentes de tamanho variando de 2,5 a 3,5 µm.

624 Afinidade biológica: correspondem a estruturas mandibulares de anelídeos poliquetas (Armstrong &

625 Brasier, 2005), porém podem estar relacionadas a rádulas de gastrópodes (Calvo, 1987).

626

INSERIR FIGURA 6

627

628 **4 Discussões dos Resultados**

629 As formações Solimões e Içá se distinguem além de seus aspectos estratigráficos (Nogueira *et*

630 *al.*, 2013) e pela ocorrência de *Alnipollenites* sp., apresentado em estudo palinotaxonômico de

631 angiospermas (R. Silveira & Souza, submetido a). Esta última apresenta-se distribuída apenas na

632 região de Coari, sendo reconhecida exclusivamente no ponto 2. Ainda que na região de Coari a

633 Formação Solimões apresente mesma composição palinológica que a Formação Içá, as abundâncias

634 desses palinomorfos são distintas.

635 O estudo palinológico desenvolvido em ambas regiões revelaram diferenças composicionais,

636 bem como contrastes no grau de preservação de seus elementos. Em geral, os depósitos da Formação

637 Solimões apresentam maior potencial à preservação dos palinomorfos, por se tratar de condições mais

638 redutoras que aquelas relacionadas à Formação Içá. Na região de Coari, apesar de serem registrados
 639 vários espécimes em tétrade, muitos dos esporos de pteridófitas se apresentam corroídos e/ou
 640 rasgados. Já na região do Alto Solimões os palinórfos apresentam excelente estado de preservação.

641 Dentre os táxons analisados nas duas áreas de estudo, predominam representantes dos grupos
 642 continentais. Na região de Coari foram reconhecidas esporos de pteridófitas *Cyathidites* sp. 1,
 643 *Cyathidites* sp. 2, *Deltoidospora adriennis*, *Kuylisporites waterbolki*, *Psilatriteles peruanus*,
 644 *Cyatheacidites annulatus*, *Cingulatisporites* sp., *Polypodiaceoisporites potonie*, *Polypodiaceoisporites*
 645 *pseudopsilatus*, *Verrucatotriteles bullatus*, *Verrucatotriteles* sp. 1, *Verrucatotriteles* sp. 2,
 646 *Magnastriatites grandiosus*, *Striatriteles saccolomoides*, *Cicatricosisporites* sp., *Echitriteles muelleri*,
 647 *Laevigatosporites vulgaris*, *Laevigatosporites* sp. 1, *Laevigatosporites* sp. 2, *Laevigatosporites* sp. 3,
 648 *Laevigatosporites* sp. 4, *Polypodiisporites radiates*, *Verrucatosporites usmensis*, *Verrucatosporites*
 649 *favus*, *Verrucatosporites* sp. 1, *Verrucatosporites* sp. 2 e *Perinomonoletes* sp.

650 Ainda considerando os elementos continentais, os esporos de fungos da região de Coari
 651 apresentam maior abundância e diversificação, particularmente oriundos da Formação Solimões,
 652 representados por *Monoporisporites* sp. 1, 2 e 3, *Foveodiporites* sp., *Fusiformisporites crabbii*,
 653 *Mediaverrusporonites elsiki*, *Meliolinites* sp., *Quilonia* sp. Além dessas formas, na Formação Içá
 654 ocorrem também *Diporicellaesporites* sp. 1 e *Diporicellaesporites* sp. 2.

655 Na região do Alto Solimões foram registrados *Cyathidites* sp. 3, *Deltoidospora adriennis*,
 656 *Kuylisporites waterbolki*, *Foveotriteles ornatos*, *Psilatriteles peruanus*, *Cingulatisporites* sp.,
 657 *Polypodiaceoisporites potonie*, *Striatriteles saccolomoides*, *Echitriteles muelleri*, *Crassoretitriteles*
 658 *vanraadshooveni*, *Magnastriatites grandiosus* e *Verrucatosporites usmensis*. Ainda que nessa área haja
 659 menor diversidade de pteridófitas, determinadas formas como *Deltoidospora adriennis*,
 660 *Crassoretitriteles vanraadshooveni* e *Magnastriatites grandiosus* ocorrem em maior abundância que em
 661 qualquer outro afloramento da região de Coari.

662 Entre os elementos aquáticos, as algas clorofíceas como *Pediastrum* sp. 2, *Ovoidites* sp.,
 663 *Pseudoschizae circulus* e *Pseudoschizae* sp. se distribuem em depósitos das formações Içá e
 664 Solimões na região de Coari, porém com poucos espécimes. Na região do Alto Solimões ocorrem
 665 *Pediastrum* spp. em grande abundância, além do registro de um único registro de cisto de

666 dinoflagelado relacionado a *Diphyes latiusculus*, que de acordo com Matsuoka (1974) ocorre
667 relacionado a ambiente marinho. Na região do Alto Solimões esta influência é pontual, e o
668 reconhecimento deste palinomorfo colabora os estudos de Hoorn (1993; 1994a, 1994b, 2010) sobre as
669 incursões marinhas no Mioceno na área.

670 Para os depósitos da região de Coari, foi registrado um escolecodonte em depósitos da
671 Formação Solimões. Este tipo de palinomorfo é registrado em depósitos marinhos e continentais do
672 Paleogeno (Lima & Dino, 1984; Lima & Amador, 1985; Lima *et al.*, 1994, Premaor *et al.*, 2010;
673 Fischer *et al.*, 2013).

674

675 **5 Conclusões**

676 Para a região de Coari foi constatado o predomínio de esporos de pteridófitas (aquáticas e
677 terrestres), representadas por Polypodiaceae, Cyatheaceae e Pteridaceae, relacionadas a condições de
678 alta umidade, durante todo o intervalo de deposição, o que é corroborado pela diversificada e
679 abundante representação de esporos de fungo. Não foi registrado qualquer indício de influência
680 marinha para a área.

681 Na região de Alto Solimões a microflora compreende predominantemente esporomorfos,
682 associados a algas, particularmente *Pediastrum* em grande número e diversificadas formas, que sugere
683 deposição em lagoas de água doce, lagos e/ou rios lentos, possivelmente em condições eutróficas. Por
684 outro lado a presença de *Diphyes latiusculus* indica influência marinha pelo menos em uma camada do
685 afloramento P7, evidenciando variações nas condições ambientais no sítio deposicional.

686

687 **AGRADECIMENTOS**

688 Os autores agradecem a FAPEAM e ao CNPq, pelo financiamento das atividades de campo na região de Coari e
689 Alto Solimões, bem como pela concessão de bolsa de doutorado e de produtividade em pesquisa (Processos
690 CNPq 142102/2010-5 e 308844/2010-6). Este trabalho é parte da Tese de Doutorado da primeira autora.

691

692 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

693 Armstrong, H.A. & Brasier, M.D. 2005. Scolecodonts. *In*: Armstrong, H.A. & Brasier, M.D. (Ed)
694 *Microfossils*. 2a. edição, p.101-103.

- 695
696 Banerjee, D. 1966. A Note on Tertiary Microflora from Andaman Islands, India. *Polen et Spores*,
697 61:205-212.
- 698
699 Bento-dos-Santos, D. 2005. *Palinologia de amostras da seção-tipo da Formação Itaquaquecetuba,*
700 *Bacia de São Paulo, na Mineradora Itaquareia I: implicações palinocrono-estratigráficas e*
701 *paleoambientais*. Guarulhos, 148p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Ciências Biológicas,
702 Universidade Guarulhos.
- 703
704 Bento-dos-Santos, D., Garcia, M.J., Fernandes, R.S., Saad, A.R. & Bistrichi, C.A. 2006a. Composição
705 paleoflorística dos depósitos terciários da Formação Itaquaquecetuba, Estado de São Paulo, Brasil. *In:*
706 *SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7 SIMPÓSIO DO TERCIÁRIO DO BRASIL, 1, 2006,*
707 *Serra Negra. Boletim de Resumos, UNESP, p. 20.*
- 708
709 Bento-dos-Santos, D., Garcia, M.J., Fernandes, R.S., Saad, A.R. & Bistrichi, C.A. 2006b. A
710 Paleopalinologia na reconstrução da paisagem terciária da Formação Itaquaquecetuba (Mineradora
711 Itaquareia 1), Município de Itaquaquecetuba, Estado de São Paulo, Brasil. *In:* SIMPÓSIO
712 ARGENTINO DE PALEOBOTANICA Y PALINOLOGÍA, 13, 2006, Bahia Blanca. *Boletín de*
713 *Resúmenes*, Universidad Nacional del Sur y CONISET, p. 72.
- 714
715 Calvo, I.S. 1987. *Rádulas de gastrópodes marinhos brasileiros*. Rio Grande, Editora da Fundação
716 Universidade do Rio Grande, 201p.
- 717
718 Caputo, M.V. 1984. Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basin
719 of Brazil. Santa Barbara, 583p. Tese de Doutorado. University of California.
- 720
721 Carrión, J.S. & Navarro, C. 2002. Cryptogam spores and other non-pollen microfossils as sources of
722 palaeoecological information: case-studies from Spain. *Annals Botanical Fennici*, 39:1-14.
- 723
724 Carvalho, M.A. 1996. *Estudo Paleocológico e Paleoclimático, com base em Palinologia, aplicado*
725 *em sedimentos Pleistocênicos e Pliocênicos da Bacia da Foz do Amazonas*. Rio de Janeiro, 146p.
726 Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências,
727 Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 728
729 Cruz, N.M.C. 1984. Palinologia do Linhito do Solimões no Estado do Amazonas. *In:* SIMPÓSIO DE
730 GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, 1984, Manaus. *Resumos expandidos*, p. 473-480.
- 731
732 Daemon, R.F. & Contreiras, C.J.A. 1971. Zoneamento palinológico da bacia do Amazonas.
733 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971. *Anais...*, 3:79-91.
- 734
735 Davis, O.K. 1992. Rapid climatic change in coastal southern California inferred from Pollen Analysis
736 of San Joaquin Marsh. *Quaternary Research*, 37:89-100.
- 737
738 Eiras, J.F., Becker, C.R., Souza, E.M., Gonzaga, F.G., da Silva, J.G.F., Daniel, L.M.F., Matsuda, N.S.
739 & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(1):17-45.
- 740
741 Fischer, T.V., Souza, P.A., Escamilla, J.H. & Arai, M. 2013. Associações Palinológicas do Paleógeno
742 da Bacia de Pelotas (Poço BP-1, Brasil) e Seu Significado Estratigráfico. *Geociências*, 32(4):677-695.
- 743
744 Garcia, M.J., Bernardes-de-Oliveira, M.E., Santos, M.A., Dino, R., Antonioli, L., Bistrichi, C.A. &
745 Casado, F.C. 2007. Floras Neógenas Sul-Americanas no Contexto Mundial. *In:* Garcia, M.J. (Ed.)
746 *Paleontologia: Cenários de Vida*, vol. 1, p. 657-687.
- 747

- 748 Garcia, M.J., Bistrichi, C.A., Saad, A.R., Campanha, V.A. & Oliveira, P.E. 2008. Stratigraphy and
749 Paleoenvironments of the Tanque Basin, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*,
750 11(3):147-168.
- 751
- 752 Germeraad, J.H., Hopping, C.A. & Muller, J. 1968. Palynology of tertiary sediments from the tropical
753 areas. *Review Palaeobotany Palynology*, 6:189-348.
- 754
- 755 Guimarães, J.T.F., Nogueira, A.C.R., Silva Jr, J.B.C., Soares, J.L. & Silveira, R.R. 2013. Fossil Fungi
756 from Miocene Sedimentary of the Central and Coastal Amazon Region, North Brazil. *Journal of*
757 *Paleontology*, 87(3):484-492.
- 758
- 759 Hill, R.S., Macphail, M.K., Jordan, G.J. 2001. Macrofossils associated with the fossil fern spore
760 *Cyatheidites annulatus* and their significance for Southern hemisphere biogeography. *Review of*
761 *Palaeobotany and Palynology*, 116:195-202.
- 762
- 763 Hoorn, C. 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional
764 history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaogeography,*
765 *Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 105:277-309.
- 766 Hoorn, C. 1994a. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonas Basin (Early Miocene –
767 early Middle Miocene, Colombia). *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 109: 1-54.
- 768
- 769 Hoorn, C. 1994b An environmental reconstruction of the palaeo-Amazon River system (Middle-Late
770 Miocene, NW Amazonia). *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 112:187-238.
- 771 Hoorn, C. 2006. Mangrove forests and marine incursions in Neogene Amazonia (Lower Apaporis
772 River, Colombia). *Palaeos*, 21:197-209.
- 773
- 774 Hoorn, C.; Wesselingh, F.P.; Steage, H.; Bermudez, M.A.; Mora, A.; Sevink, J.; Na Martín, I.;
775 Sanchez-Meseguer, A.; Anderson, C.L.; Figueiredo, J.P.; Jaramillo, C.; Riff, D.; Negri, F.R.;
776 Hooghiemstra, H.; Lundberg, J. Stadler, T.; Särkinen, T.; Antonelli, A. 2010a. Amazon Trough Time:
777 Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity. *Science*, v. 330: 927-931.
- 778
- 779 Jaramillo, C., Hoorn, C., Silva, S.A.F., Leite, F., Herrera, F., Quiroz, L., Dino, R. & Antoniolli, L.
780 2010. The origin of the modern Amazon Rainforest: implications of the palynological and
781 palaeobotanical record. In: Hoorn, C. & Wesselingh, F. P. (Ed.) Amazonia, Landscape and species
782 Evolutions: A Look in to the past, p.317-334.
- 783
- 784 Jaramillo, C. A., Rueda, M. & Torres, V. 2011. A palynological zonation for the Cenozoic of the
785 Llanos and Llanos Foothills of Colombia, *Palynology*, 35:46-84.
- 786
- 787 Kalgutkar, R. M. & Singler, L. 1995. Some fungal form-taxa from the Maastrichtian and Palaeogene
788 ages. *Mycological Research*, 99:513-522.
- 789
- 790 Kalgutkar, R.M. & Jansonius, J. 2000. Synopsis of Fossil Fungal Spores, Mycelia, and Frutifications.
791 *American Association of Stratigraphy Palynologists Foundation, Contributions Series*, 39: 423p.
- 792
- 793 Latrubesse, E.M.; Silva, S.A.F.; Cozzuol, M.; Absy, M.L. 2007. Late Miocene continental
794 sedimentation in southwestern Amazonia and its regional significance: Biotic and geological evidence.
795 *Journal of South American Earth Sciences*, 23:61-80.
- 796
- 797 Leite, F.P.R., Oliveira, M.E.B., De Oliveira, P.E., Silvestre-Capelato, M.S., Arai, M. &
798 Trunckenbroudt, W. 1997a. Palinoflora Miocenas da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, na Região
799 Bragantina, Estado do Pará, Brasil. *Revista da Universidade Guarulhos, Geociências*, 2:128-140.
- 800

- 801 Leite, F.P.R., Oliveira, M.E.B., Arai, M., Trunckenbroudt, W. 1997b. Palinoestratigrafia da Formação
802 Pirabas e Grupo Barreiras, Mioceno do Nordeste do Estado do Pará, Brasil. *Revista da Universidade*
803 *Guarulhos, Geociências*, 2:141-147.
- 804
- 805 Leite, F.P.R. 2004. Palinologia. In: Rossetti, D.F. & Góes, A.M. (Ed.) *O Neógeno da Amazônia*
806 *Oriental*. Belém, Editora do Museu Emilio Goeldi, p. 55-90.
- 807
- 808 Leite, F.P.R. 2006. *Palinologia da Formação Solimões, Neógeno da Bacia do Solimões, Estado do*
809 *Amazonas, Brasil: Implicações Paleoambientais e Bioestratigráficas*. Brasília, 128p. Tese de
810 Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências,
811 Universidade de Brasília.
- 812
- 813 Lima, M.R. & Salard-Cheboldaeff, M. 1981. Palynologie des bassins de Gandarela et Fonseca
814 (Eocene de L'état de Minas Gerais, Brésil). *Boletim do Instituto de Geociências USP*, 12:33-54.
- 815
- 816 Lima, M.R. & Dino, R. 1984. Palinologia de Amostras da Bacia de Bonfim, Terciário do Estado de
817 São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Geociências USP*, 15:1-11.
- 818
- 819 Lima, M.R. & Amador, E.S. 1985. Análise palinológica de sedimentos da Formação Resende,
820 Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE
821 PALEONTOLOGIA, 8, 1983, Rio de Janeiro. Coletânea de trabalhos paleontológico, Rio de Janeiro,
822 MME-DNPM, p. 371-378.
- 823
- 824 Lima, M.R. & Cunha, F.L.S. 1986. Análise palinológica de um nível linhítico da Bacia de São José de
825 Itaboraí, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*,
826 58(4):579-588.
- 827
- 828 Lima, M.R. & Angulo, R.J. 1990. Descoberta de Microflora em um Nível Linhítico da Formação
829 Alexandra, Terciário do Estado do Paraná, Brasil. *Anais da Acadêmica Brasileira de Ciências*,
830 62(4):357-371.
- 831
- 832 Lima, M.R. & Melo, M.S. 1994. Palinologia de depósitos rudáceos da região de Itatiaia, bacia de
833 Resende- Rio de Janeiro. *Geonomos*, 2(1):12-21.
- 834
- 835 Lima, M.R., Vespucci, J.B.O. & Suguio, K. 1985. Estudo palinológico de uma camada de linhito da
836 Formação Caçapava, Bacia de Taubaté, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. *Anais da Academia*
837 *Brasileira de Ciências*, 57:183-197.
- 838
- 839 Lima, M.R., Melo, M.S. & Coimbra, A.M. 1991. Palinologia de Sedimentos da Bacia de São Paulo,
840 Brasil. *Revista do Instituto Geológico*, 12:7-20.
- 841
- 842 Lorente, M.A. 1986. Palynology and palynofacies of upper Tertiary in Venezuela. *Dissertationes*
843 *Botanicae*. 99: 222p.
- 844
- 845 Maia, R.G.N.; Godoy, H.K.; Yamaguti, H.S.; Moura, P.H.; Costa, F.S.F. da; Holanda, M.A., Costa,
846 J.A. 1977. Projeto Carvão no Alto Solimões. Manaus, DNPM/CPRM, 137p.
- 847
- 848 Maizatto, J.R. 2001. *Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias*
849 *do Gandarela e Fonseca – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, com base nos aspectos*
850 *palinológicos e sedimentares*. Ouro Preto, 249p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em
851 *Evolução Crustal e Recursos Naturais*, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- 852
- 853 Mandaokar, B.D. & Mukherjee, D. 2012. Palynological Investigation of Early Miocene Sediments
854 Exposed at panruti, cuddalore district, Tamil Nadu, India. *International Journal of Geology, Earth and*
855 *Environmental Science*. 2(3):157-175.

- 856
857 Matsuoka, K. 1974. Some plant microfossils from the Miocene Fujiwara Group, Nara, Central Japan.
858 *The Palaeontological Society of Japan*, 94:319-340.
859
- 860 Melo, A.F.F. & Villas Boas, P. F. 1993. Caracterização e Distribuição da Formação Içá na Porção
861 Noroeste do Estado do Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4, 1993.
862 *Resumos Expandidos*, Manaus, p. 210-211.
863
- 864 Muller, J., Giacomo, E. & Van Erve, A.W. 1987. A palynological zonation for the Cretaceous,
865 Tertiary and Quaternary of Northern South America. *American Association of Stratigraphic*
866 *Palynologists Contribution Series*, 19:7-76.
867
- 868 Nogueira, A.C.R., Silveira, R.R. & Guimarães, J.T.F. 2013. Neogene-Quaternary sedimentar and
869 paleovegetation history of eartern Solimões Basin, central Amazon region. *Jornal of South American*
870 *Earth Sciences*, 46:89-99.
871
- 872 Playford, G. 1982. Neogene palynomorphs from the Huon Peninsula, Papua New Guinea. *Palynology*,
873 6:29-54.
874
- 875 Posthumus, O. 1929. *The ferns of Surinam and of French and British Guaina*. Java, Malang: 196p.
876 Potonié, H. 1893. Die flora des Rotliegenden von Thüringen. *Abhandlungen der Koniglich*
877 *Preussischen Geologischen Landesanstalt*, 9(2):1-298.
878
- 879 Potonie, R., 1956. Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. I. Teil: Sporites. *Beihefte zum*
880 *Geologischen Jahrbuch*, 23, 103 p.
881
- 882 Potonie, R. 1960. Synopsis der Gattungen der Sporae dispersat. III. Teil: Nachträge Sporites,
883 Fortsetzung Pollenites, Mit Genererallregister zer Teil I-III. *Geologisches Jahrbuch, Beihefte*, 39:1-
884 189.
885
- 886 Premaor, E., Souza, P.A., Arai, M. & Helenes, J. 2010. Palinomorfos do Campaniano (Cretáceo
887 Superior) da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul: implicações bioestratigráfica e paleoambientais.
888 *Pesquisas em Geociências*, 37(1):63-79.
889
- 890 Rao, M.R. 1995. Palynostratigraphy zonation and correlation of the Eocene-Early Miocene sequence
891 in Alleppey district, Kerala, India. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 86:325-348.
892
- 893 Regali, M.S.P. 1971. *Palinologia dos Sedimentos Cenozóicos da Foz do Rio Amazonas*. São Paulo,
894 118p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências,
895 Universidade de São Paulo.
896
- 897 Regali, M.S.P., Uesuguei, N. & Santos, A.S. 1974a. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do
898 Brasil (I). *Boletim Técnico da Petrobrás*, 17(3): 177-190.
899
- 900 Regali, M.S.P., Uesuguei, N. & Santos, A.S. 1974b. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do
901 Brasil (II). *Boletim Técnico da Petrobrás*, 17(4): 263-301.
902
- 903 Rull, V. 2001. A Quantitative Palynological Record from the Early Miocene of Western Venezuela,
904 with Emphasis on Mangroves. *Palynology*, 25:109-126.
905
- 906 Rull, V. 2003. Contribution of Quantitative Ecological Methods to the Interpretation of
907 Stratigraphically Homogeneous Pre-Quaternary Sediments: A Palynological Example from the
908 Oligocene of Venezuela. *Palynology*, 27:75-98.
909

- 910 Santos, D.B., Garcia, M.J., Saad, A.R. & Bistrichi, C.A. 2010. Palinoestratigrafia da Formação
911 Itaquaquecetuba, bacia de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 13(3):205-220.
912
- 913 Santos, R.A.; Garcia, M.J., Oliveira, P.E., Giannini, P.C.F. , Fernandes, R.S. & Bistrichi, C.A. 2012.
914 Palinomorfos das turfas de Eugênio de Melo, médio vale do rio Paraíba do Sul, São Paulo, Brasil.
915 *Iheringia*, Série Botânica, 67:7-24.
916
- 917 Scaphati, L., Melendi, D.L. & Volkheimer. 2009. A Danian subtropical lacustrine palynobiota from
918 South America (Bororó Formation, San Jorge Basin, Patagonia – Argentina). *Geologica Acta*, 7(1-
919 2):35-61.
920
- 921 Silva-Caminha, S.A.F. da., Jaramillo, C.A. & Absy, M.L. 2010. Neogene palynology of the Solimões
922 Basin, Brazilian Amazônia. *Palaeontographica Abteilung B*, 283:1-67.
923
- 924 Silva, W.G., Souza, P.A. & Arai, M. 2011. Palinomorfos Neógenos do Poço 2-CA-1-RS, Bacia de
925 Pelotas, Brasil: Significado Bioestratigráfico e Paleoecológico. *Revista do Instituto de Geociência -
926 USP*, Série Científica, 11:149-169.
927
- 928 Silveira, R.R. 2005. *Cronoestratigrafia e Interpretação Paleoambiental de Depósitos Miocenos da
929 Formação Solimões, Região de Coari, AM*. Manaus, 115p. Dissertação de Mestrado, Programa de
930 Pós-Graduação em Geologia Regional, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do
931 Amazonas.
932
- 933 Silveira, R.R. & Nogueira, A.C.R. 2007. Cronoestratigrafia de Depósitos Miocenos da Bacia do
934 Solimões e sua correlação com depósitos da Amazônia. *In: CONGRESSO DA ABEQUA 2007*,
935 Belém. *Boletim de Resumos, ABEQUA*, v.1 CDRom.
936
- 937 Silveira, R.R. & Souza, P.A. (submetido a). Palinologia (Grãos de Pólen de Angiospermas) das
938 Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), das Regiões de Coari e Alto Solimões, Amazonas,
939 Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*.
940
- 941 Silveira, R.R. & Souza, P.A. (submetido b). Palinoestratigrafia e Paleoambiente dos Depósitos de
942 Atalaia do Norte e Tabatinga, Formação Solimões, Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de
943 Geociências*.
944
- 945 Silveira, V.D. 1981. *Micologia*. 4ª. Ed. Rio de Janeiro, Interamericana.332p.
946
- 947 Singh, C. 1964. Microflora of the Lower Cretaceous Mannville Group, East-Central Alberta. *Research
948 Council of Alberta Bulletin*, 15:1-239.
949
- 950 Tryon, R.M. & Tryon, A.F. 1982. *Ferns and Allied Plants*. New York: Springer-Verlag, 648p.
951
- 952 Uesugui, N. 1979. Palinologia; técnicas de tratamento de amostras. *Boletim técnico da Petrobrás*,
953 22:229-240.
954
- 955 Van der Hammen, T. 1956. A palynological systematic nomenclature. *Boletín Geológico*, 4:63-101.
956
- 957 Van Geel, B. & Van der Hammen, T. 1978. Zygnemataceae in Quaternary Colombian sediments.
958 *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25: 377-392.
959
- 960 Wanderley Filho, J.R.; Eiras, J.F. & Vaz, P.T. 2007. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências
961 Petrobrás*, v.15, n.2.p.217-225.
962
- 963 Worobiec, E. 2009. Middle Miocene palynoflora of the Legnica lignite deposit complex, Lower
964 Silesia, Poland. *Acta Palaeobotanica*, 49(1):5-133.

965	
966	Yamamoto, I.T. 1995. <i>Palinologia das Bacias Tafrogênicas do Sudeste (bacias de Taubaté, São Paulo</i>
967	<i>e Resende): análise bioestratigráfica integrada e interpretação paleoambiental</i> . Rio Claro, 217p. Tese
968	de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
969	
970	
971	
972	
973	
974	
975	
976	
977	
978	
979	
980	
981	
982	
983	
984	
985	
986	
987	
988	
989	
990	
991	
992	
993	
994	
995	
996	
997	
998	
999	
1000	
1001	
1002	
1003	
1004	
1005	
1006	
1007	
1008	
1009	
1010	
1011	
1012	
1013	
1014	
1015	
1016	
1017	
1018	

1019 **Figura 1.** Localização da área de amostragem. A) Mapa geológico e B) localização da área estudada e
 1020 amostragem na região de Coari (pontilhado em B corresponde a limite impreciso do Arco de Purus,
 1021 Sub-bacia do Juruá (modificado de Nogueira *et al.*, 2013) e, C) localização pontos de coleta do Alto
 1022 Solimões na Sub-bacia do Jandiatuba, Bacia do Solimões.

1023

1024 **Figura 2.** Fotomicrografias de palinomorfos selecionados. 1) *Monoporisporites* sp. 1; 2)
 1025 *Monoporisporites* sp. 2; 3) *Monoporisporites* sp. 3; 4) *Foveodiporites* sp.; 5) *Fusiformisporites*
 1026 *crabii*; 6) esporo de fungo indeterminado; 7) *Mediaverrunites elsekii*; 8) *Diporicellaesporites* sp. 1;
 1027 9) *Diporicellaesporites* sp. 2; 10) *Meliolinites* sp; 11) *Quilonia* sp.

1028

1029 **Figura 3.** Fotomicrografias de palinomorfos selecionados (VP: vista polar; FP: foco proximal; FM:
 1030 foco médio; FD: foco distal): 1) *Deltoidospora adriennis* VP, FP; 2) *Cyathidites* sp. 3, VP, FP; 3)
 1031 *Cyathidites* sp.1, VP, FP; 4) *Cyathidites* sp.2, VP, FP; 5) *Kuylisporites waterbolckii*, VP, FM; 6)
 1032 *Foveotriletes ornatus*, VP, FP; 7) *Cyatheacidites peruanus*, VP, FP; 8) *Cingulatisporites* sp., VP, FD;
 1033 9) *Cyatheacidites annulatus*, VP, FD; 10a) *Polypodiaceoisporites potonie*, VP, FP; 10b)
 1034 *Polypodiaceoisporites potonie*, VP, FD ; 11) *Polypodiaceoisporites* sp., VP, FD.

1035

1036 **Figura 4.** Fotomicrografias de palinomorfos selecionados (VP: vista polar; FP: foco proximal; FD:
 1037 foco distal; FM: foco médio): 1a) *Polypodiaceoisporites pseudopsilatus*, VP, FP; 1b)
 1038 *Polypodiaceoisporites pseudopsilatus*, FD; 2) *Verrucatotriletes* sp.1, VP, FP; 3) *Verrucatotriletes* sp. 2,
 1039 VP, FP; 4) *Verrucatotriletes bullatus*, VP, FD; 5a) *Striatriletes saccolomoides*, T20/3; 5b) *Striatriletes*
 1040 *saccolomoides*, VP, FM; 6a) *Crassoretiriletes vanraadshooveni*, VP, FD; b) *Crassoretiriletes*
 1041 *vanraadshooveni*, VP, FP; 7) *Magnastriatites grandiosus*, VP, FD; 8) *Cicatricosisporites* sp. VO
 1042 (vista oblíqua), FD; 9) *Echitriletes muelleri*, VP, FP.

1043

1044 **Figura 5.** Fotomicrografias de palinomorfos selecionados (VE: vista equatorial; FD: foco distal; FP:
 1045 foco proximal): 1) *Laevigatosporites vulgaris* VE, FD; 2) *Laevigatosporites* sp. 1, VE, FP; 3)
 1046 *Laevigatosporites* sp. 2, VP, FD; 4) *Laevigatosporites* sp. 3, VP, FD; 5) *Laevigatosporites* sp. 4, VE,
 1047 FD; 6) *Polypodiisporites radiatus*, VE, FP; 7) *Verrucatosporites usmensis*, VE, FD; 8)
 1048 *Verrucatosporites favus*, VE, FD; 9) *Verrucatosporites* sp. 1, VE, FD; 10) *Verrucatosporites* sp. 2,
 1049 VE, FP; 11) *Perimonoletes* sp., VE, FD; 12) *Podocarpidites* sp.1, VP, FD; 13) *Podocarpidites* sp.2,
 1050 VP, FD.

1051

1052 **Figura 6.** Fotomicrografias de palinomorfos selecionados: 1-4 obtidas sob luz de fluorescência 1)
 1053 *Pediastrum* sp. 1; 2) *Pediastrum* sp. 2; 3) *Pediastrum* sp. 3; 4) *Pediastrum* sp. 4; 5) *Pseudoschizaeae*
 1054 *circulus*; 6) *Pseudoschizaeae* sp.; 7) *Ovoidites* sp.; 8) Escolecodonte indeterminado; 9) *Diphyes*
 1055 *latiusculus*.

1056

1057 **Quadro 1:** Informações sobre a procedência dos espécimes de palinomorfos ilustrados (esporos de
 1058 fungos e pteridófitas e grãos de pólen de gimnospermas) (Loc.: localidade; Af.: afloramento; E.F.
 1059 coordenadas na lâmina: *England Finder*.

1060

1061 **Quadro 2:** Informações sobre a procedência dos espécimes de palinomorfos ilustrados (algas
 1062 clorofíceas, alga dinofíceas e fragmento de invertebrado) (Loc.: localidade; Af.: afloramento; E.F.
 1063 coordenadas na lâmina: *England Finder*.

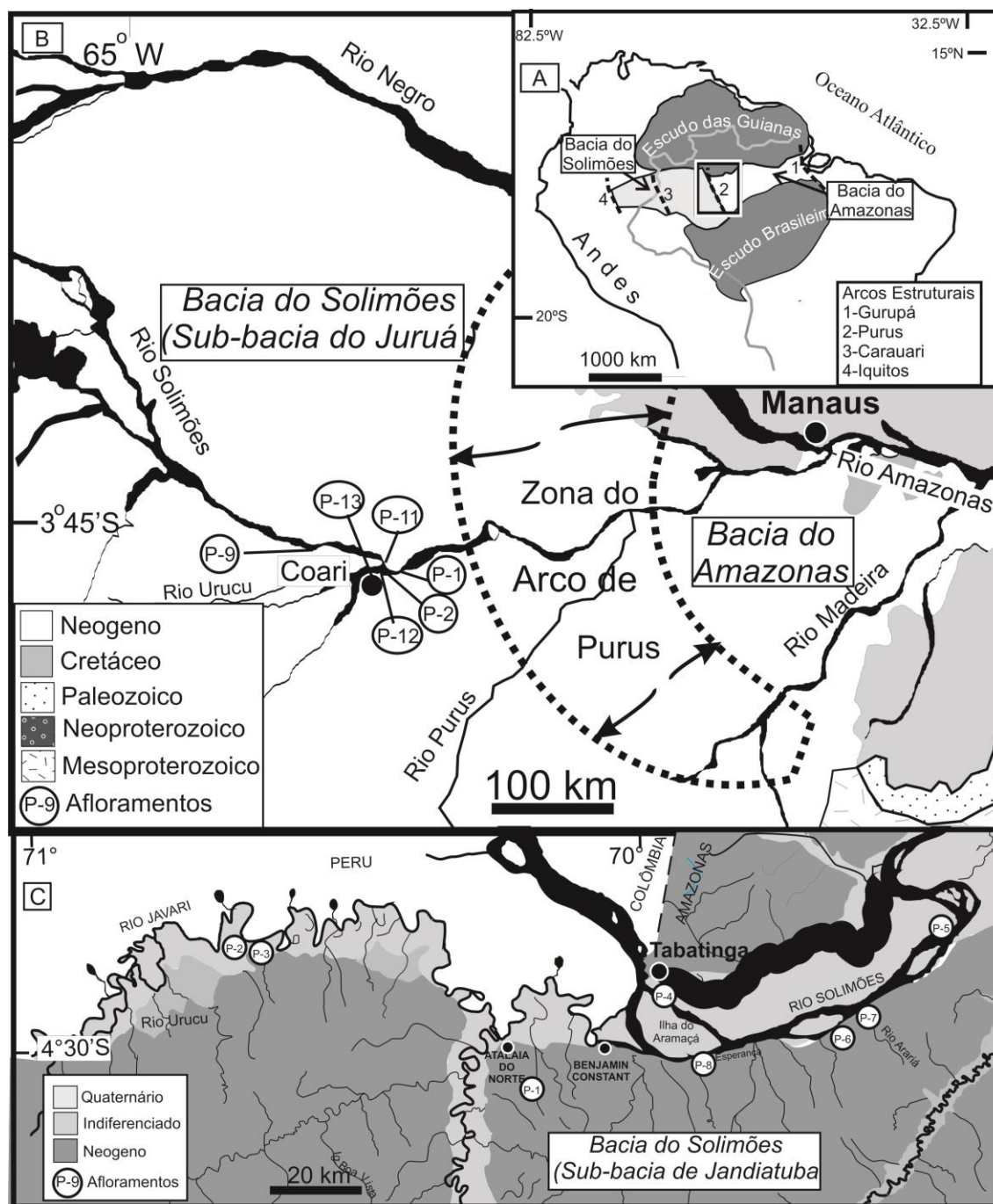
1064 Quadro 1.

Táxon	Loc./Af.	Lâmina	Coordenadas (E.F)	Ilustração (Fig.)
Esporos de fungos				
<i>Diporicellaesporites</i> sp. 1	Coari/P2	Am13A	Q50/1	2.8
<i>Diporicellaesporites</i> sp. 2	Coari/P2	Am21A	R57/4	2.9
Esporo de fungo indeterminado	Coari/P2	Am13A	N60/1	2.6
<i>Foveodiporites</i> sp.	Coari/P2	Am13A	U56	2.4
<i>Fusiformisporites crabbii</i>	Alto Solimões/P5	MP-P 10123	Y48	2.5
<i>Mediaverrunites elsekii</i>	Coari/P2	Am1A	H26/1	2.7
<i>Meliolinites</i> sp.	Coari/P2	Am8A	R35/2	2.10
<i>Monoporisorites</i> sp. 1	Coari/P2	Am12A	O51/2	2.1
<i>Monoporisorites</i> sp. 2	Coari/P2	Am5A	L47/4	2.2
<i>Monoporisorites</i> sp. 3	Coari/P2	Am13A	V03	2.3
<i>Quilonia</i> sp.	Coari/P12	Am7A	D40/2-D41/1	2.11
Esporos de pteridófitas				
<i>Cicatricosisporites</i> sp.	Coari/P2	Am9B	F29	4.8
<i>Cingulatisporites</i> sp.	Coari/P2	Am9B	D34/1	3.8
<i>Crassoretiriletes vanraadshoovenii</i>	Alto Solimões/P1	MP-P 6775	E47/3	4.6
<i>Cyatheacidites annulatus</i>	Coari/P2	Am9B	E35/1	3.9
<i>Psilatriletes peruanus</i>	Coari/P2	Am8A	C32/4	3.7
<i>Cyathidites</i> sp. 1	Coari/P2	Am1A	F23/3	3.3
<i>Cyathidites</i> sp. 2	Coari/P2	Am1B	W31/3	3.4
<i>Cyathidites</i> sp. 3	Alto Solimões/P1	MP-P 6765	E33/3	3.2
<i>Deltoidospora adriennis</i>	Alto Solimões/P4	MP-P 7518	R45	3.1
<i>Echitriletes muelleri</i>	Coari/P2	Am3A	Q37/2	4.9
<i>Foveotriletes ornatus</i>	Alto Solimões/P1	MP-P 6767	V48	3.6
<i>Kuylisporites waterbolkii</i>	Coari/P2	Am1A	W35/3 - X35/2	3.5
<i>Laevigatosporites</i> sp. 1	Coari/P13	Am4B	R17/1	5.2
<i>Laevigatosporites</i> sp. 2	Coari/P2	Am10A	P39	5.3
<i>Laevigatosporites</i> sp. 3	Coari/P2	Am1A	J25/1	5.4
<i>Laevigatosporites</i> sp. 4	Coari/P2	Am1A	K21	5.5
<i>Laevigatosporites vulgaris</i>	Coari/P13	Am8A	B40/1	5.1
<i>Magnastriatites grandiosus</i>	Alto Solimões/P1	MP-P 6765	R27	4.7
<i>Perinomonoletes</i> sp.	Coari/P2	Am3A	E32/1	5.11
<i>Polypodiaceoisporites potonie</i>	Coari/P2	Am5B	R63	3.10
<i>Polypodiaceoisporites pseudopsilatus</i>	Coari/P2	Am7A	X24/4	4.1
<i>Polypodiaceoisporites</i> sp.	Coari/P2	Am7A	T21/4	3.11
<i>Polypodiisporites radiatus</i>	Coari/P13	Am8A	Y40/3	5.6
<i>Striatriletes saccolomoides</i>	Coari/P13	Am3A	T20/3	4.5
<i>Verrucatosporites favus</i>	Coari/P2	Am2A	W35/3-X35/2	5.8
<i>Verrucatosporites</i> sp. 1	Coari/P2	Am8A	D38/2	5.9
<i>Verrucatosporites</i> sp. 2	Coari/P2	Am19A	S19	5.10
<i>Verrucatosporites usmensis</i>	Alto Solimões/P1	MP-P 6765	F52/1	5.7
<i>Verrucatotriletes bullatus</i>	Coari/P2	Am5B	R52	4.4
<i>Verrucatotriletes</i> sp.1	Coari/P2	Am1A	K22	4.2
<i>Verrucatotriletes</i> sp. 2	Coari/P2	Am5B	R65/3	4.3
Grão de pólen de gimnospermas				
<i>Podocarpidites</i> sp. 1	Alto Solimões/P7	MP-P 7740	L49/3	5.8
<i>Podocarpidites</i> sp. 2	Coari/P2	Am3A	E26/4	5.9

1066 Quadro 2.

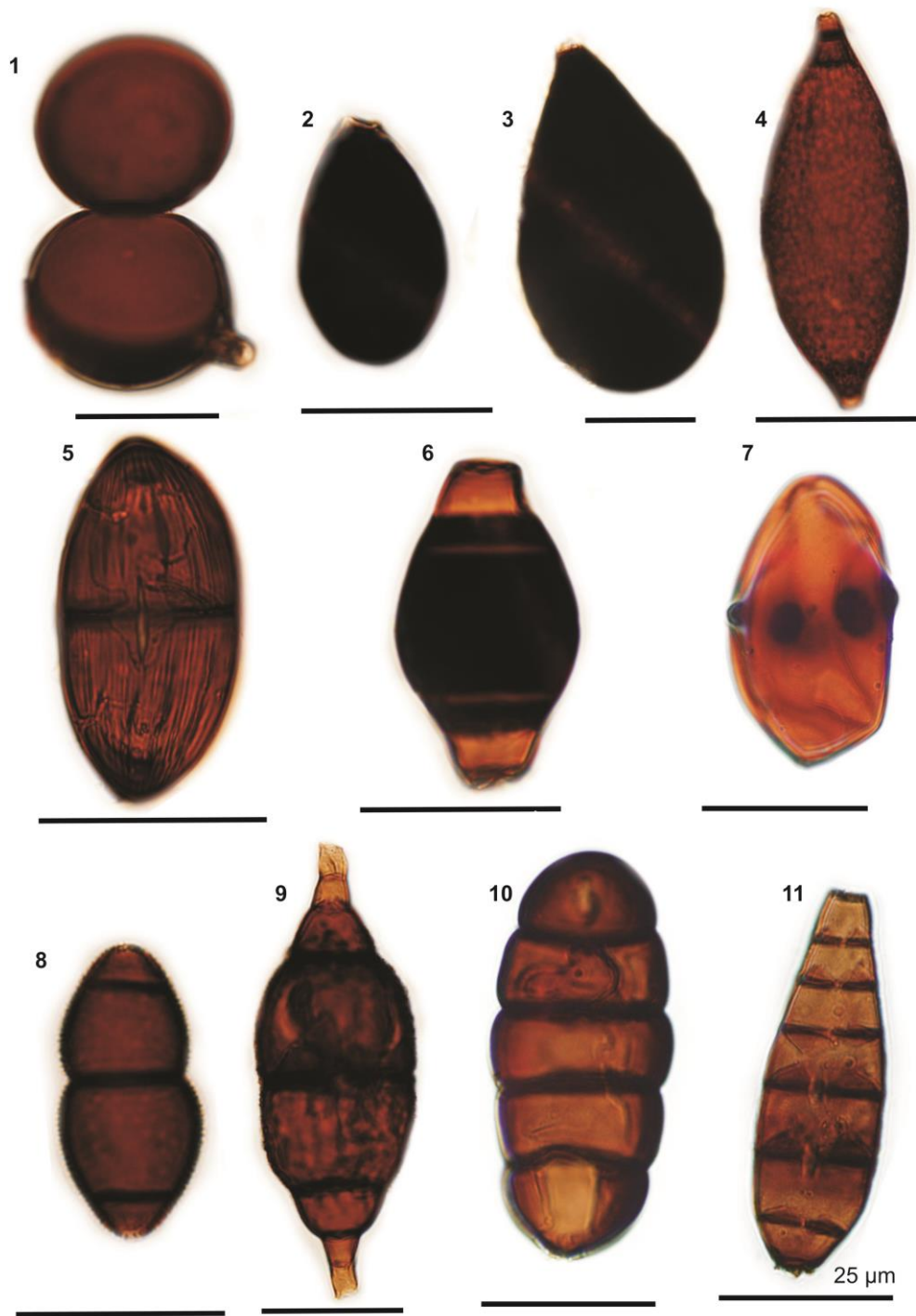
Táxon	Loc./Af.	Lâmina	Coordenadas (E.F)	Ilustração (Fig.)
Algas clorofíceas				
<i>Ovoidites</i> sp.	Coari/P2	Am7A	V23/3	6.7
<i>Pediastrum</i> sp. 1	Alto Solimões/P7	MP-P 7730	S46	6.1
<i>Pediastrum</i> sp. 2	Alto Solimões/P7	MP-P 7730	P53/3	6.2
<i>Pediastrum</i> sp. 3	Alto Solimões/P7	MP-P 7730	F49	6.3
<i>Pediastrum</i> sp. 4	Alto Solimões/P7	MP-P 7730	E28	6.4
<i>Pseudoschizeae circulus</i>	Coari/P2	Am5A	T36/4	6.5
<i>Pseudoschizeae</i> sp.	Coari/P2	Am13A	H42/1	6.6
Alga dinofíceas				
<i>Diphyes latiusculus</i>	Alto Solimões/P7	MP-P 7740	L49/3	6.9
Fragmento de invertebrados				
Escolecodonte indeterminado	Coari/P2	Am3A	E26/4	6.8

1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100



1101

1102 Figura 1.



1103 Figura 2.

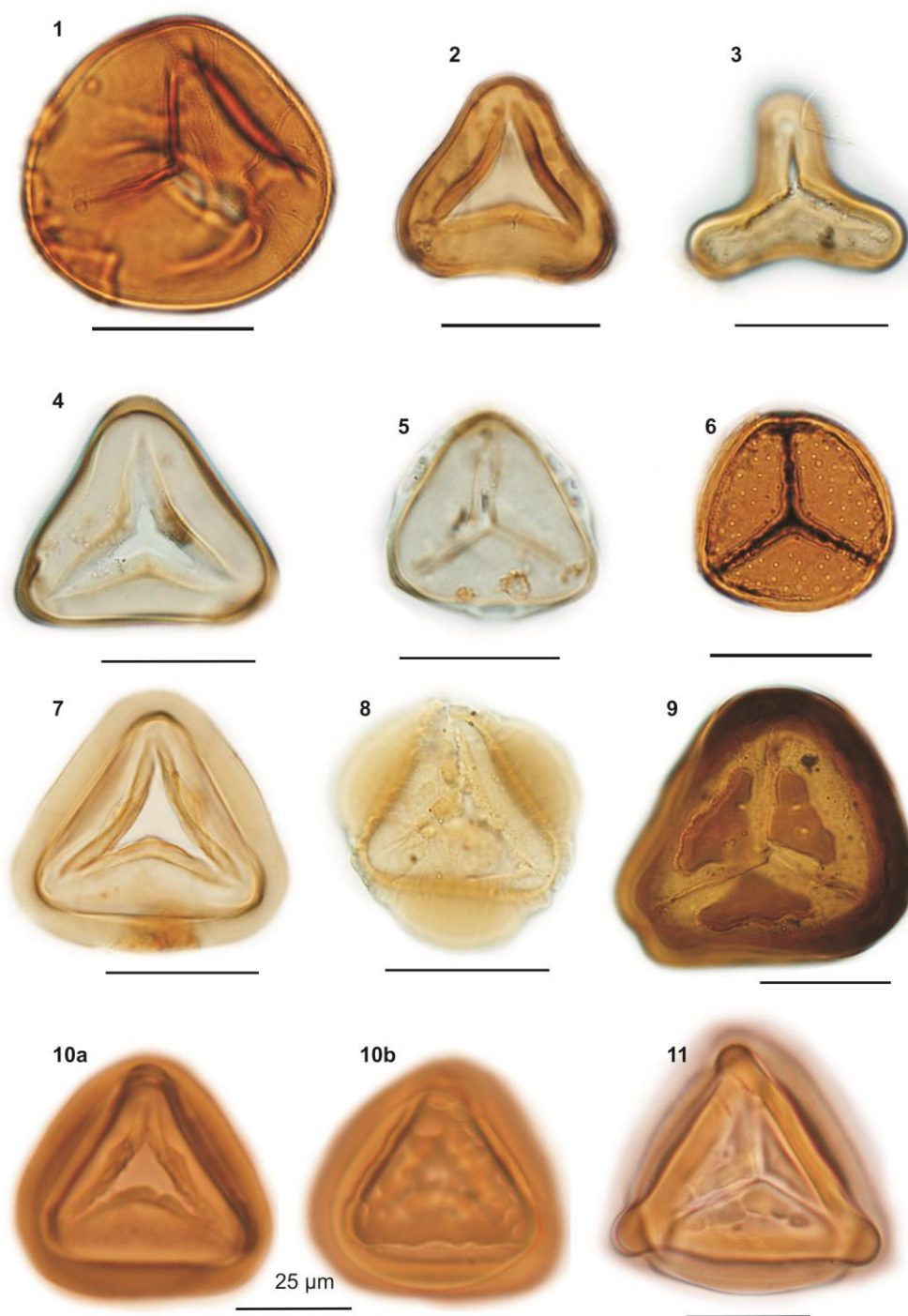
1104

1105

1106

1107

1108



1109

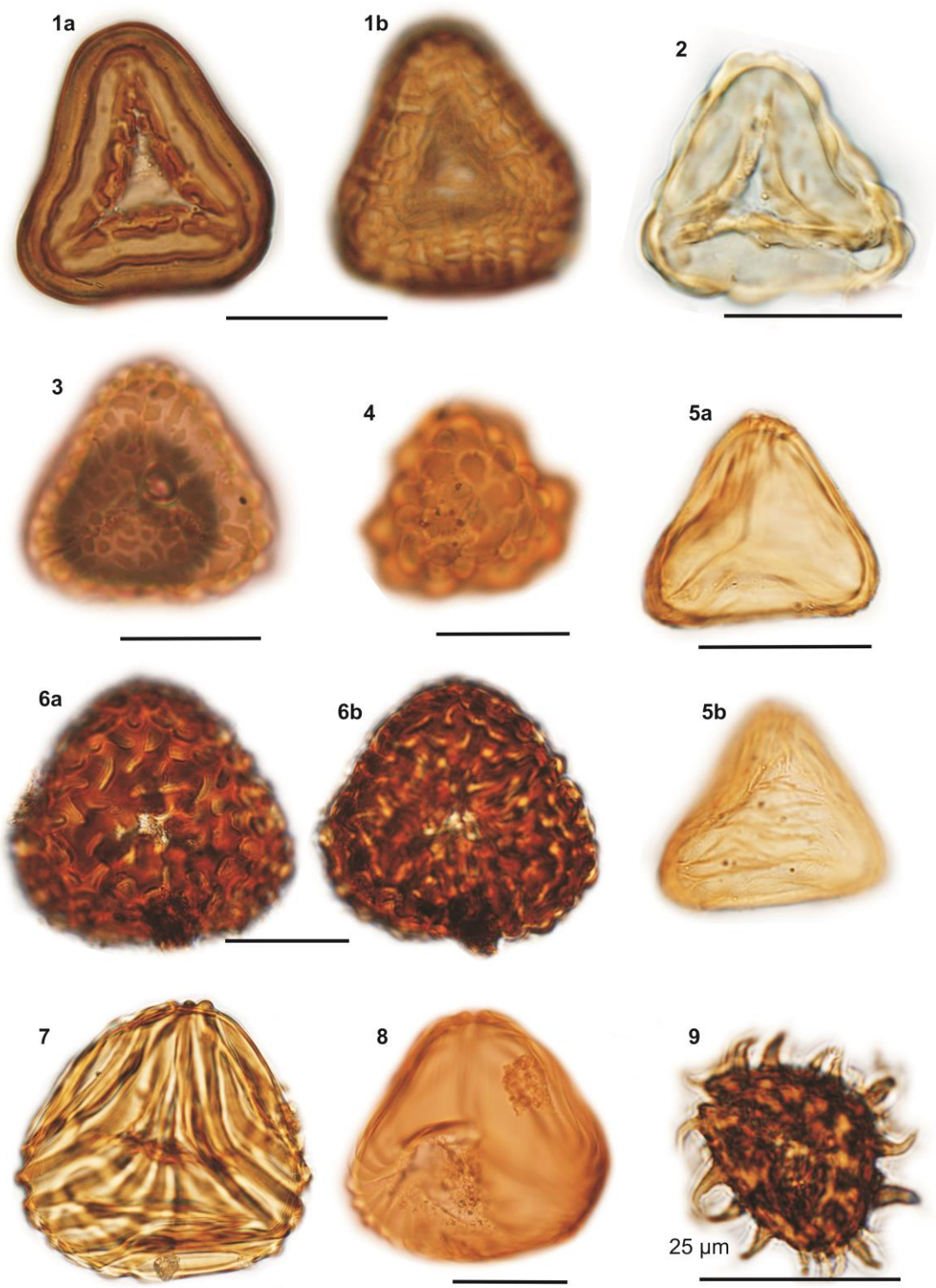
1110 Figura 3

1111

1112

1113

1114



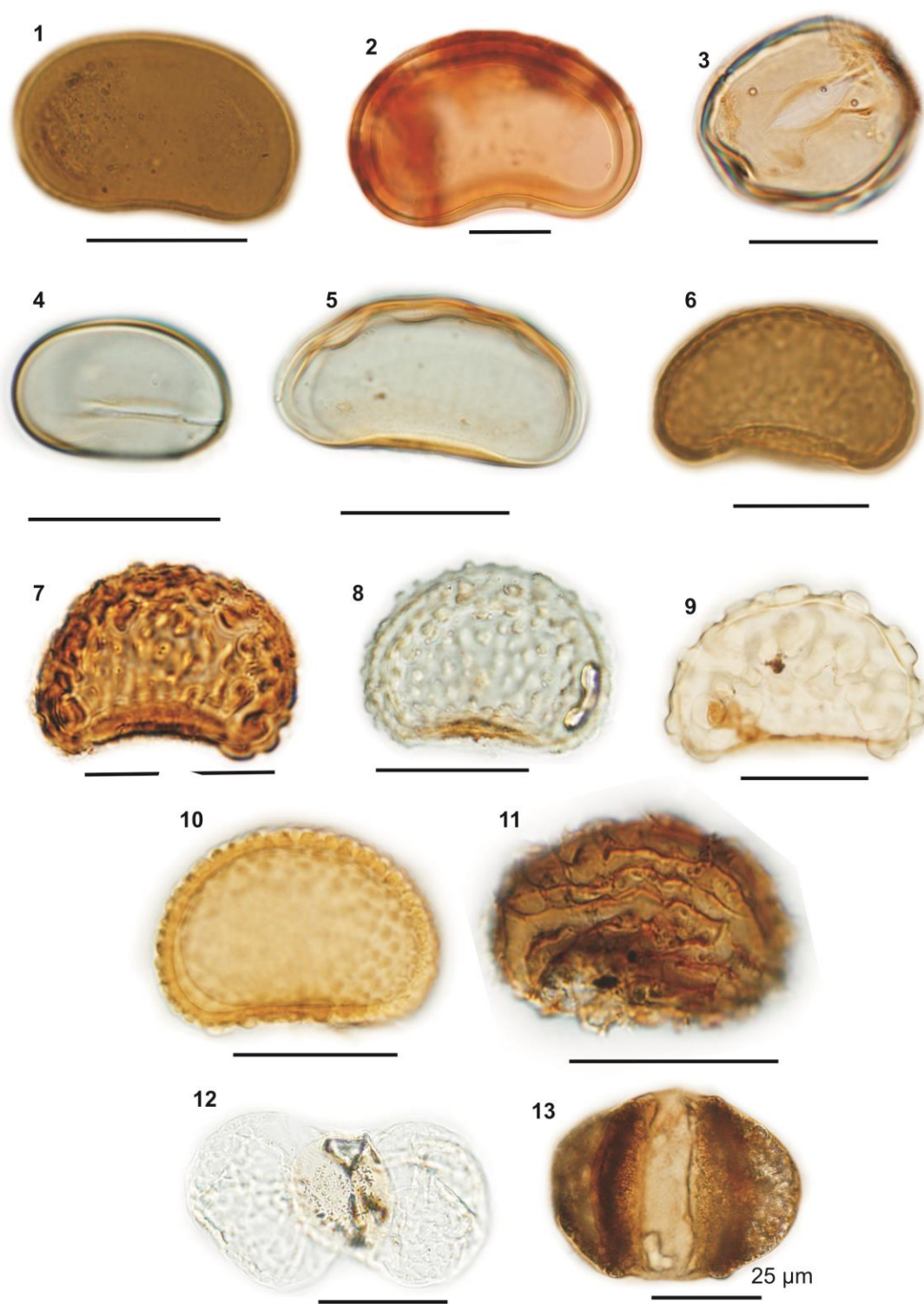
1115
1116 **Figura 4**

1117

1118

1119

1120

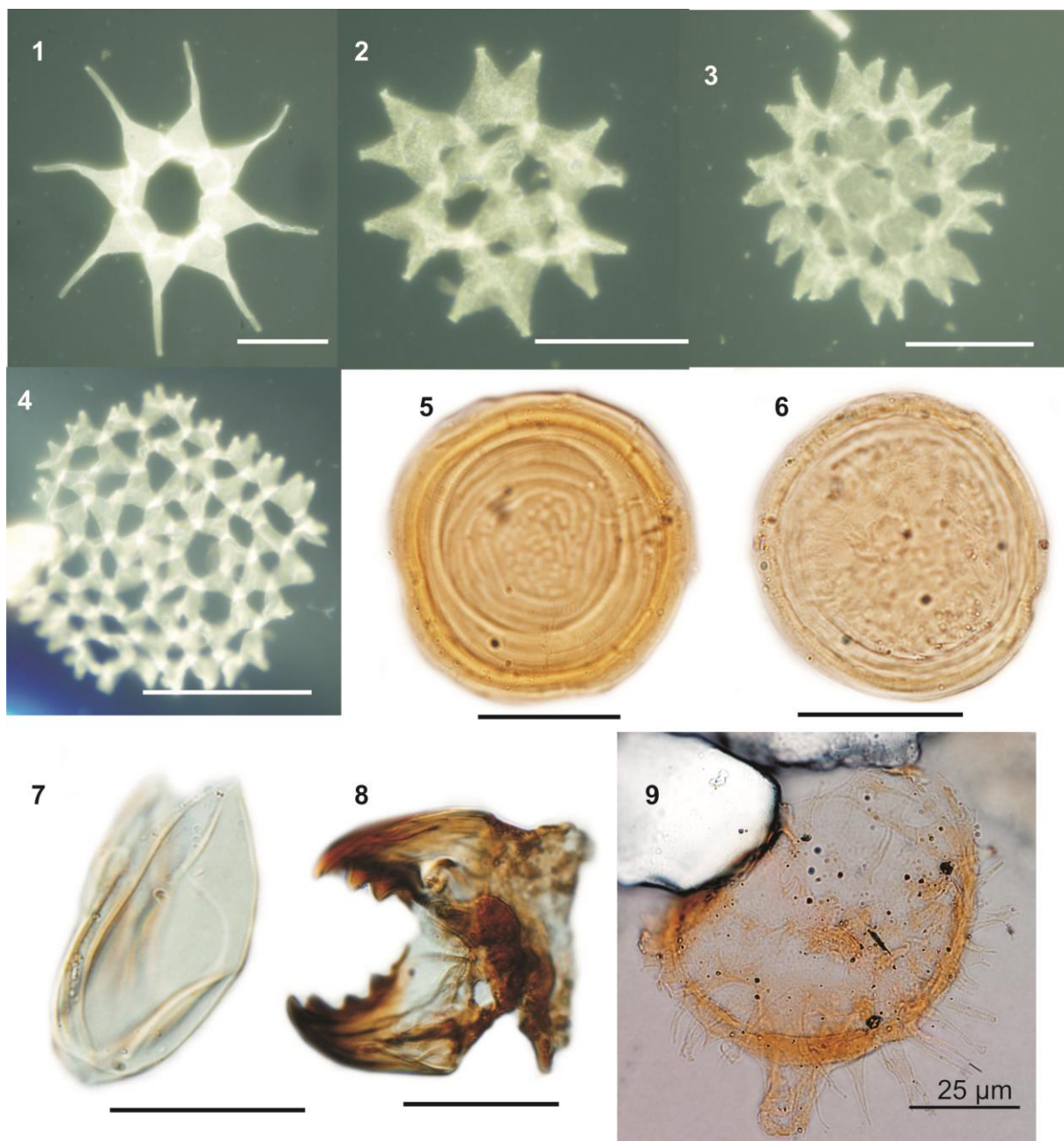


1121
1122 Figura 5

1123

1124

1125



1126

1127 **Figura 6**

1128

1129

1130

1131

Capítulo 3. 3

Artigo 3 . Palinoestratigrafia da Formação Solimões na Região do Alto Solimões (Atalaia do Norte e Tabatinga), Amazonas, Brasil.

PALINOESTRATIGRAFIA DA FORMAÇÃO SOLIMÕES NA REGIÃO DO ALTO SOLIMÕES (ATALAIA DO NORTE E TABATINGA), AMAZONAS, BRASIL

Rosemery Rocha da SILVEIRA^{1,2} & Paulo Alves de SOUZA²

(1) Departamento de Geologia, Instituto de Ciências Exatas, UFAM. Av. General Rodrigo Jordão Ramos, 3000, 69077-000, Manaus, AM, Brasil. rrsilveira@ufam.edu.br

(2) Programa de Pós-Graduação em Geociências, Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de Geociências, UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500, 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. paulo.alves.souza@ufrgs.br

Introdução

Contexto Geológico e Paleontológico

Materiais e Métodos

Resultados

Discussão dos resultados

Palinoestratigrafia do Neógeno da região amazônica ocidental

Idade e Correlação da Palinoflora

Conclusões

Agradecimentos

Referências bibliográficas

ABSTRACT Palynostratigraphy of the Solimões Formation in the Alto Solimões region (Atalaia do Norte and Tabatinga), Amazonas, Brazil

This paper presents the palynostratigraphic results obtained from seven surface sections of the Solimões Formation (Solimões Basin), in adjacent areas of the Atalaia do Norte and Tabatinga municipalities, Amazonas State, at the Solimões and Javari riverbanks, as well as from the BR307 road. 41 samples were analyzed revealing abundant and diverse palynological assemblages, comprising 57 taxa of palynomorphs concerning species of chlorophycean (7) and dinophycean (1) algae, pteridophyte spores (13), and gymnosperm (2) and angiosperm (34) pollen grains. Guide

specie of zonal schemes previously proposed were recognized, including spores (*Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Foveotrilletes ornatos*), pollen grains (*Grimsdalea magnaclavata*, *Multimarginites vanderhammeni*, *Perfotricolpites digitatus*, *Bombacacidites baculatus*, *Psilastephanoporites tesseroporus*, *Jandufouria seamrogiformis*) and dinocyst (*Diphyes latiusculus*). These taxa indicate an age assignment in the Serravalian-Tortonian (Middle to Upper Miocene) to the study deposits, related to the Grimsdalea Zone, erected to the coeval interval of this unit.

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados palinoestratigráficos de sete seções de superfície da Formação Solimões, Bacia do Solimões, em áreas adjacentes aos municípios de Atalaia do Norte e Tabatinga, estado do Amazonas, ocorrentes às margens dos rios Solimões e Javari, bem como da rodovia BR307. Um total de 41 amostras foi analisado, resultando em conjuntos palinológicos relativamente abundantes e diversificados, compostos por 57 táxons de palinomorfos: 7 espécies de algas clorofíceas, 1 de alga dinofíceas, 13 de esporos de pteridófitas, 2 de grãos de pólen de gimnospermas e 34 de grãos de pólen de angiospermas. Palinofósseis guias de zoneamentos palinológicos previamente propostos foram reconhecidas, incluindo espécies de esporos (*Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Foveotrilletes ornatos*), de grãos de pólen (*Grimsdalea magnaclavata*, *Multimarginites vanderhammeni*, *Perfotricolpites digitatus*, *Bombacacidites baculatus*, *Psilastephanoporites tesseroporus*, *Jandufouria seamrogiformis*) e de dinoflagelado (*Diphyes latiusculus*). A associação dessas formas permitiu posicionar os depósitos superficiais da Formação Solimões na região de Tabatinga e Atalaia do Norte no limite dos intervalos Serravaliano-Tortoniano (Mioceno Médio a Superior), com correspondência com a Zona *Grimsdalea*, pré-estabelecida para intervalo coevo da unidade.

INTRODUÇÃO

Palinomorfos de natureza terrestre e marinha são amplamente utilizados para a determinação de paleoambientes, idades e correlações em várias bacias sedimentares brasileiras, constituindo ferramenta indispensável na resolução de problemas geológicos. A história evolutiva da floresta amazônica tem sido interpretada a partir de levantamentos paleoflorísticos, com destaque para os estudos palinológicos, em sua maioria oriundos da região ocidental (Cruz, 1984; Hoorn, 1993; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010).

A Formação Solimões é uma unidade rica em conteúdo paleontológico, com abundância relativa de palinomorfos, permitindo contribuições em termos paleoambientais e bioestratigráficos. Nos últimos anos, trabalhos de detalhe têm permitido aprimoramentos nestes temas, principalmente quando apoiados por controle estratigráfico da amostragem e integração com os dados de natureza geológica, tal como verificado em Silveira (2005), Silveira & Nogueira (2007), Dino *et al.* (2012) e Nogueira *et al.* (2013), com significativo aporte em termos bioestratigráficos e litofaciológicos.

Para Cruz (1984), os depósitos da Formação Solimões, na porção central da Amazônia, correspondem a idades entre Eomioceno ao Plioceno. Hoorn (1993) verificou palinozonas na unidade que abrangem todo o Mioceno. Trabalhos mais recentes, nas proximidades dos testemunhos estudados por Hoorn (1993), apontam para idades que variam de Mioceno Inferior a Plioceno (Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010). Estas observações implicam que a unidade tem idade variável de acordo com a área de amostragem, sendo imprescindível a delimitação da distribuição dos corpos ao longo da bacia e suas idades particulares, de modo a evitar generalizações. Este trabalho apresenta os resultados de estudos palinoestratigráficos de superfície de sete seções de superfície em áreas adjacentes aos municípios de Atalaia do Norte e Tabatinga, no estado do Amazonas, ocorrentes às margens dos rios Solimões e Javari, bem como da rodovia BR307.

CONTEXTO GEOLÓGICO E PALEONTOLÓGICO

Dentre as bacias intracratônicas brasileiras, a Bacia do Solimões é a mais importante em termos de exploração de hidrocarbonetos, oriundos de depósitos paleozoicos. A bacia apresenta orientação preferencial leste-oeste, desenvolvida sobre rochas cristalinas e sedimentares proterozoicas da Província Amazônia Central, individualizada pelo arco intra-bacial Carauari nas sub-bacias de Jandiatuba e Juruá. A leste é limitada pelo Arco de Purus, com a Bacia do Amazonas; a oeste é separada, pelo Arco de Iquitos, das bacias subandinas; a sul, limita-se com o Escudo Brasileiro e a norte pelos Escudos das Guianas (Caputo, 1984; Eiras *et al.*, 1994; Wanderley Filho *et al.*, 2007) (figura 1A).

O registro sedimentar da Bacia do Solimões é marcado por múltiplos eventos de regressão e transgressão marinhas vinculados aos processos de subsidência e soerguimento, relacionados ao comportamento dos arcos estruturais ativos, principalmente durante o Paleozoico (Caputo & Silva, 1991). O Arco de Carauari teve controle decisivo na distribuição e espessura das sucessões sedimentares, particularmente até o Pensilvaniano e, provavelmente, influenciou a deposição das unidades sedimentares do Cretáceo Superior e do Neógeno (Eiras *et al.*, 1994).

A última sequência deposicional da bacia corresponde ao Grupo Javari, compreendendo rochas do Cretáceo Superior, correspondente à Formação Alter do Chão, que é separada por discordância erosiva da Formação Solimões, do Mioceno-Plioceno (Cruz, 1984; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010). Terraços fluviais mais jovens, do Quaternário recobrem localmente a unidades neogenas.

Dentre as unidades neogenas, a Formação Solimões apresenta grande distribuição espacial, ocorrendo em porção restrita da Bacia do Amazonas, e ampla nas bacias do Acre e Solimões. Fora da Amazônia brasileira, ocorre também na Amazônia colombiana e peruana, onde recebe os nomes de “Terciário Amazônico” e Formação Pebas, respectivamente (Hoorn, 1993, 1994; Leite, 2008; Silva-Caminha *et al.*, 2010).

O nome “Série Solimões” foi primeiramente utilizado por Moraes-Rego (1930) para designar a seção cenozoica argilosa exposta ao longo do Rio Solimões. Caputo *et al.* (1971) e o relatório do Projeto RADAMBRASIL (Brasil, 1978) correlacionaram esta seção com as bacias subandinas, revalidando a unidade como Formação Solimões.

No que concerne aos dados paleontológicos, a Formação Solimões, na Sub-bacia do Jandiutuba, apresenta grande diversidade fóssilífera, incluindo microfósseis, microfósseis vegetais, invertebrados e vertebrados, com conteúdo muito semelhante ao das bacias subandinas e Bacia do Acre (Latrubesse *et al.*, 2007, 2010). A maioria dos trabalhos palinológicos da Formação Solimões é advinda de seções de subsuperfície dos estados do Amazonas (Cruz, 1984; Hoorn, 1993; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010) e de superfície do Acre (Latrubesse *et al.*, 2007). Somente Silveira (2005) registrou palinomorfos em seções aflorantes do estado do Amazonas, correspondentes à localidade de Coari, confirmado por Silveira & Nogueira (2007), Nogueira *et al.* (2013) e Guimarães *et al.* (2013). Microfósseis calcários estão presentes, referentes a ostracodes (Purper, 1979; Purper & Ornellas, 1991; Ramos, 2006; Wesselingh & Ramos, 2010). Restos e vestígios de folhas fósseis foram também documentados na unidade em território brasileiro (Silveira, 2005; Silveira & Nogueira, 2007), contudo ainda não foram adequadamente estudados. Os moluscos se acham representados na unidade por gastrópodes e bivalves (Nuttall, 1990; Vonhof *et al.*, 1998; Wesselingh *et al.*, 2002). Vertebrados fósseis são os organismos mais estudados na Formação Solimões, encontrados nos estados do Acre e Amazonas, representados por peixes, aves, répteis e mamíferos, conforme sintetizado em Latrubesse *et al.* (2007, 2010).

Na Sub-bacia do Juruá, a Formação Solimões tem sua representação paleontológica limitada a elementos vegetais, tais como folhas, troncos e esporomorfos (Brasil, 1978; Cruz, 1984; Arai *et al.*, 2003; Silveira, 2005; Silveira & Nogueira, 2007; Nogueira *et al.*, 2013; Guimarães *et al.*, 2013).

A idade da Formação Solimões, estabelecida a partir de estudos palinológicos, foi primeiramente proposta por Daemon & Contreiras (1971), que posicionaram a unidade entre o Paleoceno e o Pleistoceno. Cruz (1984) admitiu, para a unidade na porção central da Amazônia,

uma idade entre Eomioceno ao Plioceno. As análises palinológicas de Hoorn (1993) compreendem seções entre Eomioceno e o limite Meso-Neomioceno, idade corroborada por Arai *et al.* (2003). Trabalhos mais recentes, desenvolvidos nas porções central e ocidental da Amazônia brasileira (Silveira, 2005; Silveira & Nogueira, 2007; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010), apontam idades compatíveis àquela estabelecida por Cruz (1984).

MATERIAIS E MÉTODOS

Ao longo de margens de rios Javari e Solimões foram investigados seis afloramentos, nomeados de P2, P4, P5, P6, P7 e P8, e um corte de estrada na rodovia BR-307 (denominado P1) que liga os municípios de Benjamin Constant e Atalaia do Norte (figura 1B), no período de vazante dos rios (novembro de 2009). Perfis estratigráficos foram confeccionados em cada exposição (figura 2), ressaltando as características litológicas e os níveis amostrados, correspondentes a litologias com coloração cinza escuro. Destas sete seções, 41 amostras foram selecionadas para processamento e análise palinológica, devidamente acondicionadas e identificadas (procedência, posição estratigráfica, data de coleta). O processamento inicial, envolvendo as fases de secagem, pesagem e trituração, foi realizado no Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Amazonas. O tratamento químico, para separação e concentração da matéria orgânica particulada por meio da dissolução dos carbonatos (com HCl) e silicatos (com HF) foi realizado no Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo (LPMMT), do Instituto de Geociências da UFRGS, conforme sintetizado em Silva *et al.* (2011). Os resíduos finais foram obtidos por peneiramento, concentrando-se a fração maior que 10 µm, permitindo a confecção de 129 lâminas (duas a quatro lâminas por amostra). Todas as lâminas estão depositadas na Palinoteca do LPMMT sob números MP-P 6764 a MP-P 6788, MP-P 7492 a MP-P 7755 e MP-P 10115 a MP-10158.

RESULTADOS

A maior parte dos níveis amostrados apresentou-se fértil, com conjuntos palinológicos diversificados e abundantes, compostos de palinomorfos, de fitoclastos (opacos e não opacos) e, subordinadamente, grumos de matéria orgânica amorfa. Um total de 57 táxons de palinomorfos foi reconhecido no estudo palinotaxonômico, correspondentes a 7 espécies de algas clorofíceas, 1 de alga dinofíceas, 13 de esporos de pteridófitas, 2 de grãos de pólen de gimnospermas e 34 de grãos

de pólen de angiospermas. Além disso, esporos de fungos foram registrados, embora não tenham sido quantificados ou reconhecidos. A lista completa dos táxons com a respectiva base nomenclatural é apresentada no quadro 1.

De modo geral, os palinomorfos registrados apresentam excelente estágio de preservação, raramente ocorrendo rasgados ou corroídos, sendo comum o registro de tétrades e políades, principalmente das espécies *Deltoidospora adriennis* e *Monoporites annulatus* e, subordinadamente, representantes do gênero *Bombacacidites*.

A distribuição estratigráfica dos táxons é apresentada por localidade nas figuras 3 a 8. Dentre os esporomorfos, alguns têm maior representação, com documentação em todos os afloramentos e na maioria dos níveis amostrados, tais como *Deltoidospora adriennis*, *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Magnastritites grandiosus* e *Verrucatosporites usmensis*, *Bombacacidites ciriloensis* e *Grimsdalea magnaclavata*. De modo geral as algas clorofíceas e dinofíceas ocorrem de forma subordinada, com destaque quantitativo restrito em determinados níveis estratigráficos. O significado paleoecológico destes elementos bem como dos representantes da flora continental constitui objeto de abordagem de trabalho subsequente em desenvolvimento pelos autores.

Considerando zoneamentos palinoestratigráficos estabelecidos para o mesmo intervalo de tempo para a porção norte da América do Sul, verifica-se que alguns dos táxons identificados apresentam distribuição estratigráfica ampla, tais como *Cyathidites* spp., *Deltoidospora adriennis*, *Kuylisporites waterbolki*, *Polypodiaceoisporites potonie*, *Monoporites annulatus*, *Mauritiidites franciscoi*, *Magnastriatites grandiosus*, *Echiperiporites estelae*, *Retitricolporites irregularis* e *Verrucatosporites usmensis*, não contribuindo para a determinação de idade.

Por outro lado, outros são considerados marcadores bioestratigráficos, tais como *Jandufouria seamrogiformis*, *Psilastephanoporites tesseroporus*, *Multimarginites vanderhammenii*, *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Bombacacidites baculatus*, *B. ciriloensis*, *Psilamonocolpites nanus*, *Striatricolpites catatumbus*, *Retitricolporites guianensis* e *Grimsdalea magnaclavata*, além

da espécie de dinocisto *Diphyes latiusculum*. Na foto 1 são ilustrados palinomorfos selecionados dentre aqueles com valor bioestratigráfico.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

PALINOESTRATIGRAFIA DO NEOGENO DA REGIÃO AMAZÔNICA OCIDENTAL

Importantes zoneamentos bioestratigráficos foram realizados para a porção norte da América do Sul, comumente empregados para a determinação de idades relativas dos depósitos mesozoicos e cenozoicos (Germeraad *et al.*, 1968; Daemon & Contreiras, 1971; Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a, 1974b; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987), enquanto outros são relacionados especificamente ao Neogeno da Amazônia brasileira (Cruz, 1984; Hoorn, 1993; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010).

No zoneamento proposto por Cruz (1984) nas áreas mais ocidentais da Amazônia, foram reconhecidas três zonas palinológicas na Formação Solimões, denominadas: Zona A (Mioceno), Zona B (passagem do Mioceno a Plioceno) e Zona C (Plioceno). Para a Venezuela, Lorente (1986) propôs 7 zonas correspondentes ao Neogeno: Zona de intervalo de *Cicatricosisporites*, Zona *Verrutricolporites* (ambas relacionadas a Mioceno Inferior), Zona *Psiladiporites* (Mioceno Inferior a início do Mioceno Médio), Zona *Crassoretitriletes* (Mioceno Médio), Zona *Grimsdalea* (Mioceno Médio a início do Mioceno Superior), Zona *Asteraceae* (Mioceno Superior) e Zona *Fenestrites longispinosus* (Mioceno Superior a Plioceno). Este zoneamento encontra correspondência com esquemas bioestratigráficos registrados na Formação Solimões em território brasileiro (Hoorn, 1993; Leite, 2008; Silva-Caminha *et al.*, 2010), dentre os quais o de Hoorn (1993) apresenta maior similaridade com os depósitos da faixa aflorantes de Atalaia do Norte e Tabatinga.

O material estudado por Hoorn (1993) é referente a amostras de subsuperfície no Estado do Amazonas, nas quais foram caracterizadas cinco zonas, sintetizadas, da base para o topo, como segue. A Zona de Acme de *Verrutricolporites* é definida pela abundância de *Verrutricolporites rotundisporus*, que diminui quantitativamente no topo da zona (Aquitânico-Burdigaliano inferior).

A Zona de Acme de *Retitricolporites* é marcada pela abundância de *Retitricolporites guaianensis*; sua base é definida pelo rápido decréscimo de *Verrutricolporites rotundisporus*, e topo caracterizado pelo aparecimento da associação *Psiladiporites-Crototricolpites*, com idade atribuída ao Burdigaliano Inferior a Burdigaliano Superior. A Zona de Concorrência *Psiladiporites-Crototricolpites* (Burdigaliano Superior a início do Langhiano Superior) é caracterizada pela concorrência dessas espécies a partir da base da zona, com topo da zona marcado pelo primeiro aparecimento *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*. A base da Zona de Intervalo de *Crassoretitriletes* (Langhiano Superior a Serravaliano Superior) é marcada pelo aparecimento de *Crassoretitriletes vanraadshoovenii* e topo pelo aparecimento de *Grimsdalea magnaclavata*. Por último, a Zona de Intervalo de *Grimsdalea* (Serravaliano Superior a Tortonian Médio) tem base marcada pela ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata*, sendo o topo indefinido, marcado pelo limite superior da amostragem.

Os zoneamentos apresentados posteriormente (Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010) tem relação com zonas mais jovens que as de Hoorn (1993), e as zonas propostas por Lorente (1986). Os resultados de Jaramillo *et al.* (2011), a partir de estudo realizado em material na Colômbia, mostra uma inversão na distribuição estratigráfica de determinadas espécies guias, não compatível com os zoneamentos relacionados propostos para a Amazônia brasileira.

IDADE E CORRELAÇÃO DA PALINOFLORA

Considerando os levantamentos palinológicos do norte da América do Sul (Germeraad *et al.*, 1968; Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974a, 1974b; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987; Leite, 2006; Silva, 2008; Silva-Caminha *et al.*, 2010), observa-se que grande parte das espécies registradas neste trabalho apresenta distribuição estratigráfica variável entre o Mioceno e o Plioceno. Desta forma, são ressaltados aqui somente aqueles de amplitude com significado bioestratigráfico, conforme sintetizado na Figura 9.

No zoneamento de Germeraad *et al.* (1968), estabelecido para estratos mesozoicos e cenozoicos da Venezuela, *Multimarginites vanderhammenii* distribui-se entre o Mioceno Médio e o Plioceno. No oeste da Venezuela, Lorente (1986) registrou a espécie na Zona *Crassoretitriletes* (Mioceno Médio), enquanto para a margem costeira brasileira, ocorre ao longo das zonas *Crassoretitriletes vanraadshooveni* e *Grimsdalea magnaclavata*, aproximadamente entre a metade do Mioceno Inferior e o Mioceno Superior (Regali *et al.*, 1974a, 1974b). Esta espécie ocorre em alguns níveis estratigráficos dos afloramentos P2, P6 e P7.

Foveotriletes ornatos ocorre somente no afloramento P1, sendo espécie de distribuição estratigráfica restrita na Zona *Pachydermites diderixi* estabelecida por Regali (1971) na Foz do Amazonas, com idade entre o Mioceno Médio a Mioceno Superior. *Jandufouria seamrogiformis* e *Psilastephanoporites tesseroporus* também são registrados nesta zona, de forma indiferenciada no Mioceno.

Com base no levantamento bioestratigráfico desenvolvido na Colômbia e áreas adjacentes, empregando palinologia e foraminíferos, Jaramillo *et al.* (2011) registraram a ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata* e *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, interpretando idades distintas com relação aos dados pré-existentes. De acordo com aqueles autores, a Zona *Grimsdalea magnaclavata* (T-14) tem a base delimitada pelo aparecimento da espécie epônima, com topo marcado pelo aparecimento de *Crassoretitriletes vanraadshooveni*; a idade desta zona foi atribuída ao Mioceno Inferior e Médio (16,1 a 14,2 Ma). Já a Zona *Crassoretitriletes vanraadshooveni* (T-15) tem a base marcada pelo primeiro registro da forma epônima, e topo a partir do primeiro registro de *Fenestrites spinosus*, com idade interpretada no Mioceno Médio (14,2 a 12,7 Ma).

A presença da espécie guia *Grimsdalea magnaclavata* permitiu reconhecer depósitos correspondentes à Zona *Grimsdalea*, com a presença de *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Foveotriletes ornatus*, *Multimarginites vanderhammeni*, *Foveotriletes ornatus*, *Bombacacidites ciriloensis*, *Jandufouria seamrogiformis* e *Psilastephanoporites tesseroporus*, as quais, associadas, indicam idades entre o Serravaliano (final do Mioceno Médio), não ultrapassando a metade do

Tortoniano (início do Mioceno Superior), com base em Lorente (1986) e Hoorn (1993). A ausência de Asteraceae, tais como *Echitricolporites spinosus*, *Fenestrites spinosus* e *F. longispinosus* indica que esses depósitos não são mais jovens que a idade da Zona *Grimsdalea magnaclavata*.

A espécie de dinocisto *Diphyes latiusculum* foi documentada pela primeira vez por Matsuoka (1974) na Formação Toyoda (Grupo Fujiwara), porção central do Japão, com idade entre o Mioceno Inferior e o Mioceno Médio. Matsuoka *et al.* (1987), reconheceram a espécie na costa oeste daquele país, atribuindo idade correspondente ao Mioceno Médio. Sua ocorrência em Tabatinga (P7), associada a esporomorfos distribuídos entre o final do Serravaliano ao Tortoniano, indica a ampliação da idade deste táxon para intervalos superiores no Mioceno.

Todos os depósitos investigados neste trabalho correspondem à Zona *Grimsdalea*, e são correlatos, em subsuperfície, aos depósitos que variam de 89 m a 23,5 m de profundidade do poço 1AS-51-AM, onde Hoorn (1993) reconheceu a Zona de Intervalo *Grimsdalea*, com seções correlacionáveis, em superfície, na Colômbia (Hoorn, 1993, 1994b). Ainda que a mesma autora tenha feito correlação da zona com depósitos ocorrentes em Benjamin Constant e Atalaia do Norte, no estado do Amazonas, dados palinológico não foram apresentados.

Os resultados apresentados aqui também encontram correlação com os dados palinológicos de subsuperfície (poço 1AS-4-AM, 23,5 m a 89 m) da Formação Solimões no Estado do Amazonas por Leite (2006), com idade atribuída à passagem Mioceno Médio a Superior.

Ainda que os depósitos da Formação Novo Remanso, na Amazônia central estudados por Dino *et al.* (2012) tenham apresentado a ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata*, a associação de esporomorfos é muito distinta do conjunto palinológico levantado para a região do Alto Solimões; o conjunto reconhecido por aqueles autores denota idade mais jovem que os estudados neste trabalho.

CONCLUSÕES

Os palinomorfos registrados nos depósitos superficiais da região adjacentes de Atalaia do Norte e Tabatinga, Amazônia Ocidental (Amazonas, Brasil) mostraram eficiência em termos

bioestratigráficos, com presença de espécies guias significativas. Determinadas espécies, tais como *Grimsdalea magnaclavata*, *Crassoretitrites vanraadshooveni*, *Foveotrites ornatus*, *Bombacacidites ciriloensis*, *Multimarginites vanderhammeni*, *Foveotrites ornatus*, *Jandufouria seamrogiformis* e *Psilastephanoporites tesseroporus*, permitem o reconhecimento da Zona Grimsdalea, previamente reconhecida na Formação Solimões e na Amazônia venezuelana, atribuída ao intervalo limite Serravaliano-Tortoniano (Mioceno Médio a Superior). Depósitos dessa idade são também registrados às margens de rios da Colômbia e Peru.

A presença de *Diphyes latiusculum* (dinoflagelado) no material estudado tem duas implicações. A primeira refere-se à ampliação de sua distribuição estratigráfica, uma vez que era conhecido entre o Mioceno Inferior e Médio e, por outro lado, indica influência de águas marinhas na área, ainda que seu registro seja relativo a apenas um nível estratigráfico. Outras evidências marinhas para o mesmo intervalo de tempo na Formação Solimões já haviam sido verificadas por Hoorn (1993) e Leite (2006).

Agradecimentos Os autores agradecem a FAPEAM e ao CNPq pelo financiamento das atividades de campo e pela concessão de bolsa de doutorado e de produtividade em pesquisa (Processos CNPq 142102/2010-5 e 308844/2010-6). Este trabalho é parte da Tese de Doutorado de Rosemary Rocha da Silveira.

Referências bibliográficas

1. ARAI, M.; NOGUEIRA, A.C.R.; SILVEIRA, R. R.; HORBE, A.M.C. Considerações Cronoestratigráficas e Paleoambientais da Formação Solimões com base em palinomorfos, região de Coari, Estado do Amazonas. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 8, 2003, Manaus. **Resumos expandidos...** SGA, 2003, CDRom..
2. BRASIL. Folha SB. 19 Juruá - Levantamento de Recursos Naturais: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. 1978.
3. CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R. & VASCONCELOS, D. N.: Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. **Relatório Técnico Interno da Petrobrás**, p.35-46, 1971.

4. CAPUTO, M.V. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basin of Brazil.** Universidade da California, 1984. Tese (Doutorado em Geociências), 583 p.
5. CAPUTO, M.V. & SILVA, O.B. Sedimentação e tectônica da Bacia do Solimões. In: RAJA GABAGLIA, G.P. & MILANI, E.J. (Coordenadores), **Origem e Evolução das Bacias Sedimentares.** Rio de Janeiro: PETROBRÁS, p. 169-193, 1991.
6. CRUZ, N.M.C. Palinologia do Linhito do Solimões no Estado do Amazonas. In: II SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, 1984, Manaus. **Resumos Expandidos...**1984, p. 473-480.
7. DAEMON, R.F. & CONTREIRAS, C.J.A. Zoneamento palinológico da bacia do Amazonas. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1971, p. 79-91.
8. DINO, R.; SOARES, E.A.A.; ANTONIOLI, L.; RICCOMINI, C. & NOGUEIRA, A.C.R. Palynostratigraph and sedimentar facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 34, p. 61-80, 2012.
9. EIRAS, J.F.; BECKER, C.R.; SOUZA, E.M.; GONZAGA, F.G.; da SILVA, J.G.F.; DANIEL, L.M.F.; MATSUDA, N.S. & FEIJÓ, F.J. Bacia do Solimões. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, n. 1, p. 17-45, 1994.
10. GERMERAAD, J.H.; HOPPING, C.A.; MULLER, J. Palynology of tertiary sediments from the tropical areas. **Review Paleobotany and Palynology**, v. 6, p. 89-348, 1968.
11. GUIMARÃES, J.T.F.; NOGUEIRA, A.C.R.; DA SILVA JUNIOR, J.B.C.; SOARES, J.L. & SILVEIRA, R. Fossil Fungi from Miocene Sedimentary Rocks of the Central and Coastal Amazon Region, North Brazil. **Journal of Paleontology**, v. 87, n. 3, p. 484-492.
12. HOORN, C. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene deposital history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 105, p. 277-309, 1993.
13. HOORN, C. 1994. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonas Basin (Early Miocene – early Middle Miocene, Colombia). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 109, p. 1-54.
14. JARAMILLO, C. A.; RUEDA, M., & TORRES, V. A palynological zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills of Colombia. **Palynology**, v.35, p.46-84, 2011.
15. LATRUBESSE, E.M.; SILVA, S.A.F.; COZZUOL, M. & ABSY, M.L. Late Miocene continental sedimentation in southwestern Amazonia and its regional significance: biotic and geological evidence. **Review Journal South America Earth Science**, v.23, p. 61-80, 2007.

16. LATRUBESSE, E.M.; COZZUOL, M.; SILVA-CAMINHA, S.A.F.; RIGSBY, C.A.; ABSY, M.L. & JARAMILLO, C. Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the Evolution of the Amazon River System. **Earth Science Reviews**, v.99, p. 99-124, 2010.
17. LEITE, F.P.R. **Palinologia da Formação Solimões, Neógeno da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas, Brasil: Implicações Paleoambientais e Bioestratigráficas**. Brasília, 2006, 128p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
18. LORENTE, M.A. **Palynology and palynofacies of upper Tertiary in Venezuela**. Berlin, 1986, v.99, 222p. Tese (Doutorado Geociências) - *Dissertationes Botanicae*.
19. MATSUOKA, K. Some plant microfossils from the Miocene Fujiwara Group, Nara, Central Japan. **The Palaeontological Society of Japan**, v.94, p. 319-340, 1974.
20. MATSUOKA, K.; BUJAK, J.P. & SHIMAZAKI, T. Late Cenozoic dinoflagellate cyst biostratigraphy from the west coast of northern Japan. **Micropaleontology**, v.33, n. 3, p. 214-229, 1987.
21. MORAES-REGO, L.F. **Notas sobre a Geologia do território de Acre e da Bacia do Javari**. Cezar & Cavalcante (Coordenadores), Manaus, 45p. 1930.
22. MULLER, J.; GIACOMO, E. & VAN ERVE, A.W. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. **American Association of Stratigraphic Palynologists Contribution Series**, v.19, p.7-76, 1987.
23. NEGRI, F.R.; VILLANUEVA, J.B.; FERIGOLO, J. & ANTOINE, P.O. A review of Tertiary mammal faunas and birds from the western Amazonian. In: HOORN, C. & WESSELINGH, F.P. (Coordenadores), **Amazônia: landscape and species evolution – A look into the past**. USA, Blackwell Publishig Ltd. p.245-258, 2010.
24. NOGUEIRA, A.C.R.; SILVEIRA, R.R. & GUIMARÃES, J.T.F. Neogene-Quaternary sedimentar and paleovegetation history of eartern Solimões Basin, central Amazon region. **Jornal of South American Earth Sciences**, v. 46, p. 89-99, 2013.
25. NUTTAL, C.P. A review of the Tertiary non marine molluscan faunas of the Pebasian and other inland basin of north-western South America. **Bulletin of the British Museum of Natural History Geology**, v. 45, p.165-371, 1990.
26. PURPER, I. Cenozoic Ostracodes of the Upper Amazon Basin, Brazil. **Pesquisas**, 12: 209-281, 1979.
27. PURPER, I. & ORNELLAS, L.P. New Ostracodes of the Endemic Fauna of the Pebas formation, Upper Amazon Basin, Brazil. **Pesquisas**, v.18, n.1, p. 25-30, 1991.
28. RAMOS, M.I.F. Ostracods from the Neogene Solimões Formation (Amazonas, Brazil). **Journal of South America Earth Science**, v. 21, p. 87-95, 2006.

29. REGALI, M.S.P. **Palinologia dos Sedimentos Cenozóicos da Foz do Rio Amazonas**. São Paulo, 1971, 118p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
30. REGALI, M.S.P.; UESUGUEI, N.; & SANTOS, A.S. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do Brasil (I). **Boletim Técnico da Petrobrás**, v. 17, n.3, p. 177-190, 1974a.
31. REGALI, M.S.P.; UESUGUEI, N.; & SANTOS, A.S. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do Brasil (II). **Boletim Técnico da Petrobrás**, v. 17, n.4, p. 263-301, 1974b.
32. SILVA-CAMINHA, S.A.F.da.; JARAMILLO, C.A. & ABSY, M.L. Neogene palynology of the Solimões Basin, Brazilian Amazônia. **Palaeontographica Abteilung B**, v. 283, p. 1-67, 2010.
33. SILVA, S.A.F. **Palinologia do Neógeno da Bacia do Alto Solimões, Amazônia Ocidental, Brasil: Aspectos Sistemáticos, Bioestratigráficos e Paleoecológicos**. Manaus, 2008, 182p. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais da Amazônia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA.
34. SILVA, W.G.; SOUZA, P.A. & ARAI, M. Palinomorfos Neógenos do Poço 2-CA-1-RS, Bacia de Pelotas, Brasil: Significado Bioestratigráfico e Paleoecológico. **Revista do Instituto de Geociências USP**, 11:149-169, 2011.
35. SILVEIRA, R.R. **Cronoestratigrafia e Interpretação Paleoambiental de Depósitos Miocenos da Formação Solimões, Região de Coari, AM**. Manaus, 2005, 115p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
36. SILVEIRA, R. R. & NOGUEIRA, A.C.R. Cronoestratigrafia de Depósitos Miocenos da Bacia do Solimões e sua correlação com depósitos da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO QUATERNÁRIO, Belém. **Resumos expandidos...** Belém: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2007, CDRom.
37. VONHOF, H.B.; WESSELINGH, F.P. & GANSEN, G.M. Reconstruction of the Miocene western Amazonian aquatic system using molluscan isotopic signatures. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 141, p. 85-93, 1998.
38. WANDERLEY FILHO, J.R.; EIRAS, J.F. & VAZ, P.T. 2007. Bacia do Solimões. **Boletim de Geociências Petrobras**, v.15, n.2.p.217-225.
39. WESSELINGH, F.P.; RÄSÄNEN, M.E.; IRION, G.; VONHOF H.B.; RENEME, W.; ROMERO PITTMAN, L. & GINGRAS, M. Lake Pebas: a palaeoecological reconstruction of a Miocene, long-lived lake complex in western Amazonia. **Cainozoic Research**, 1(1-2):35-81, 2002.
40. WESSELINGH, F.P. & RAMOS, M.I.F. Amazonian aquatic invertebrate fauna (Mollusca, Ostracoda) and their development over the past 30 millions years. In: HOORN, C. & WESSELINGH, F.P. (Coordenadores). **Amazônia: landscape and species evolution – A look into the past**. USA, Blackwell Publishig Ltd. p. 302-316, 2010.

Quadro 1. Relação dos palinomorfos encontrados na Formação Solimões, na região de Atalaia do Norte e Tabatinga, estado do Amazonas.

Táxon
Algas clorofíceas
<i>Pediastrum</i> spp., <i>Ovoidites</i> sp., <i>Botryococcus</i> sp.
Algas dinofíceas
<i>Diphyes latiusculum</i>
Esporos de pteridófitas
<i>Cingulatisporites</i> sp. , <i>Crassoretitriletes vanraadshoovenii</i> , <i>Psilatritriletes peruanus</i> , <i>Cyathidites</i> sp. 3, <i>Deltoidospora adriennis</i> , <i>Echitriletes muelleri</i> , <i>Foveotriletes ornatus</i> , <i>Kuylisporites waterbolkii</i> , <i>Laevigatosporites</i> sp. 2, <i>Magnastriatites grandiosus</i> , <i>Polypodiaceoisporites potonie</i> , <i>Striatritriletes saccolomoides</i> , <i>Verrucatosporites usmensis</i> .
Grão de pólen de gimnospermas
<i>Podocarpidites</i> sp. 1 <i>Podocarpidites</i> sp. 2
Grão de pólen de angiospermas
<i>Bombacacidites baculatus</i> , <i>B. ciriloensis</i> , <i>B. simpliciriloensis</i> , <i>Clavainaperturites microclavatus</i> , <i>Clavainaperturites</i> sp., <i>Crotonoidaepollenites reticulatus</i> , <i>Echiperiporites akanthos</i> , <i>E. estelae</i> , <i>E. lophatus</i> , <i>Grimsdalea magnaclavata</i> , <i>Jandufouria seamrogiformis</i> , <i>Mauritiidites franciscoi</i> , <i>Monoporites annulatus</i> , <i>Multimarginites vanderhammenii</i> , <i>Psilamonocolpites nanus</i> , <i>Psilamonocolpites</i> sp., <i>Perfotricolpites digitatus</i> , <i>Perfotricolpites digitatus</i> , <i>Perisyncolporites pokorny</i> , <i>Polyadopollenites</i> sp., <i>Proxapertites tertiaria</i> , <i>Psilaperiporites minimus</i> , <i>Psilaperiporites</i> sp.1, <i>Psilaperiporites</i> sp.2, <i>Psilastephanoporites tesseroporus</i> , <i>Retitrescolpites magnus</i> , <i>Retitricolpites</i> sp.1, <i>Retitricolpites</i> sp.2, <i>Retitricolporites guianensis</i> , <i>Retitricolporites irregularis</i> , <i>Retitricolporites simplex</i> , <i>Retitricolporites</i> sp. 1, <i>Striatricolpites catatumbus</i> .

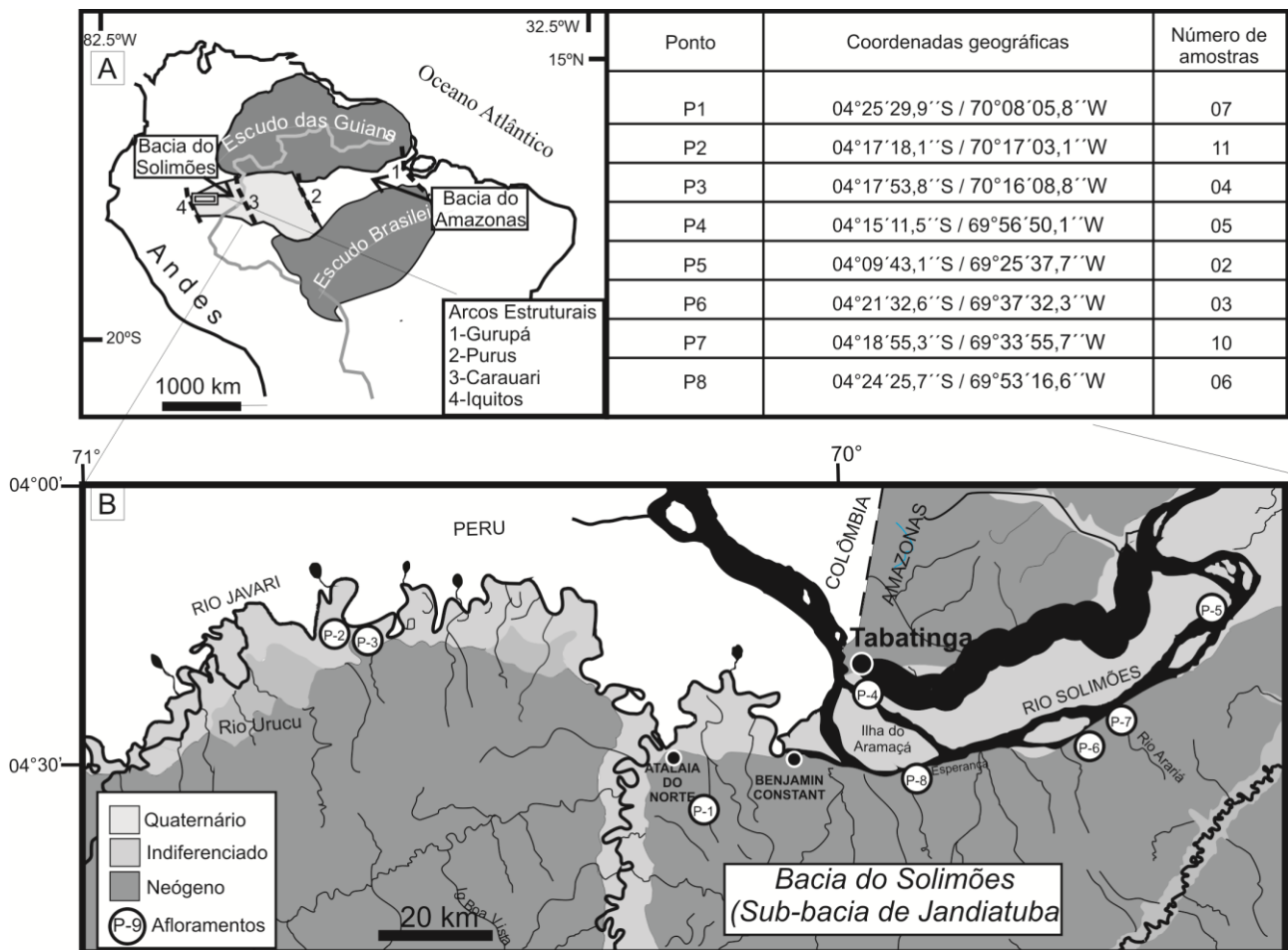


Figura 1. Localização da área de amostragem: Mapa geológico (A) e localização dos pontos de coleta na Sub-bacia do Jandiatuba, Bacia do Solimões (B).

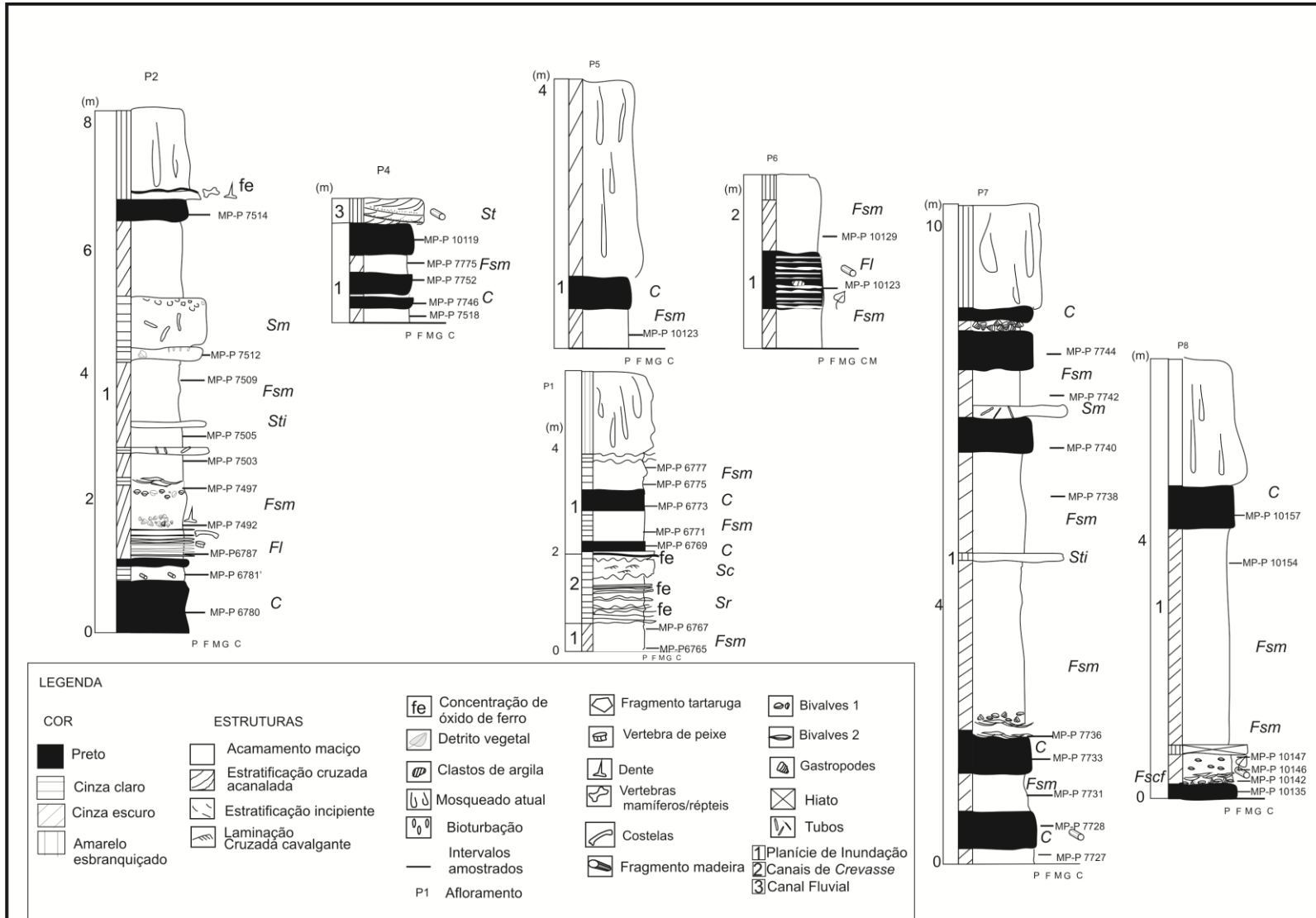


Figura 2 Perfis estratigráficos adquiridos para a região de Atalaia do Norte a Tabatinga, porção ocidental da Amazônia brasileira.

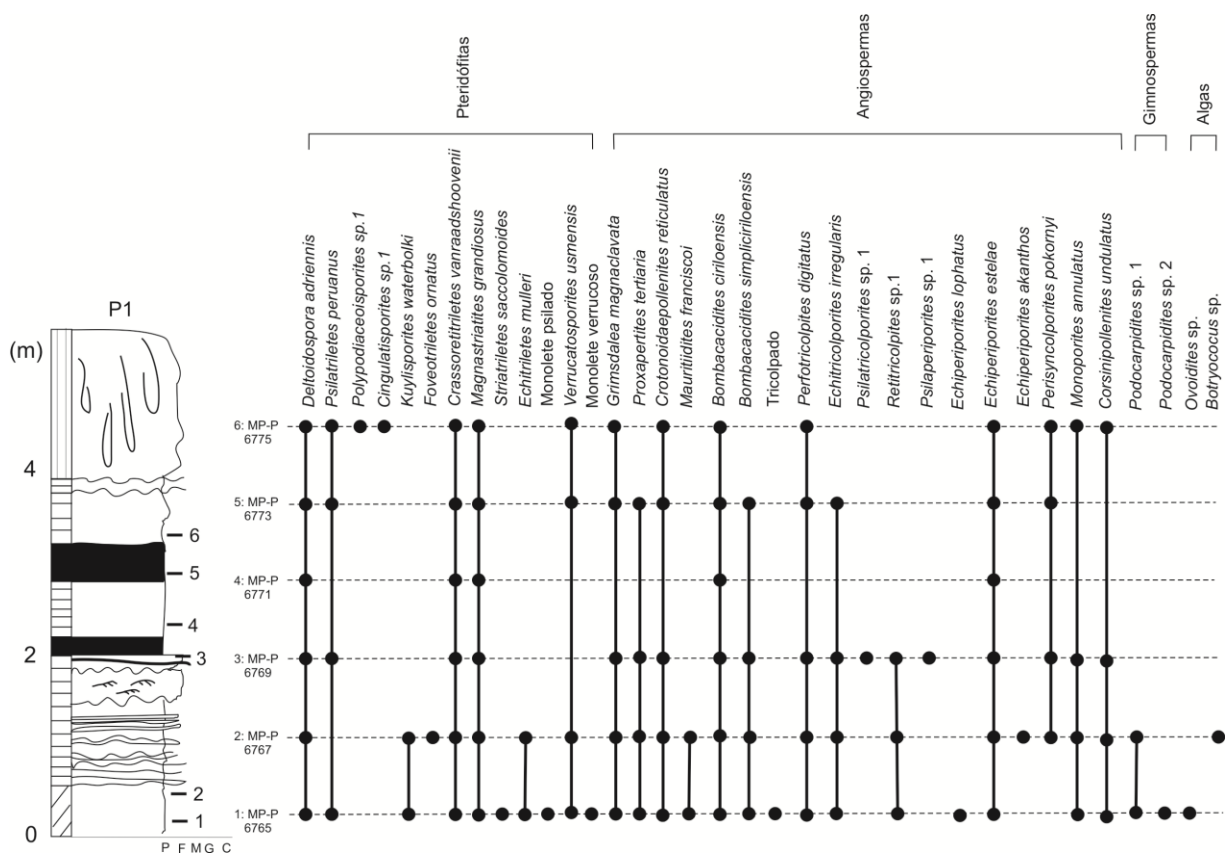


Figura 3. Distribuição estratigráfica dos táxons registrados no ponto P1, na estrada BR-307, entre Atalaia do Norte e Benjamin Constant, região do Alto Solimões, Amazonas. Pontos pretos: correspondem a níveis de ocorrência; MP-P: referente à codificação de lâminas da Palinoteca do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo; a numeração de 1 a 6: níveis amostrados.

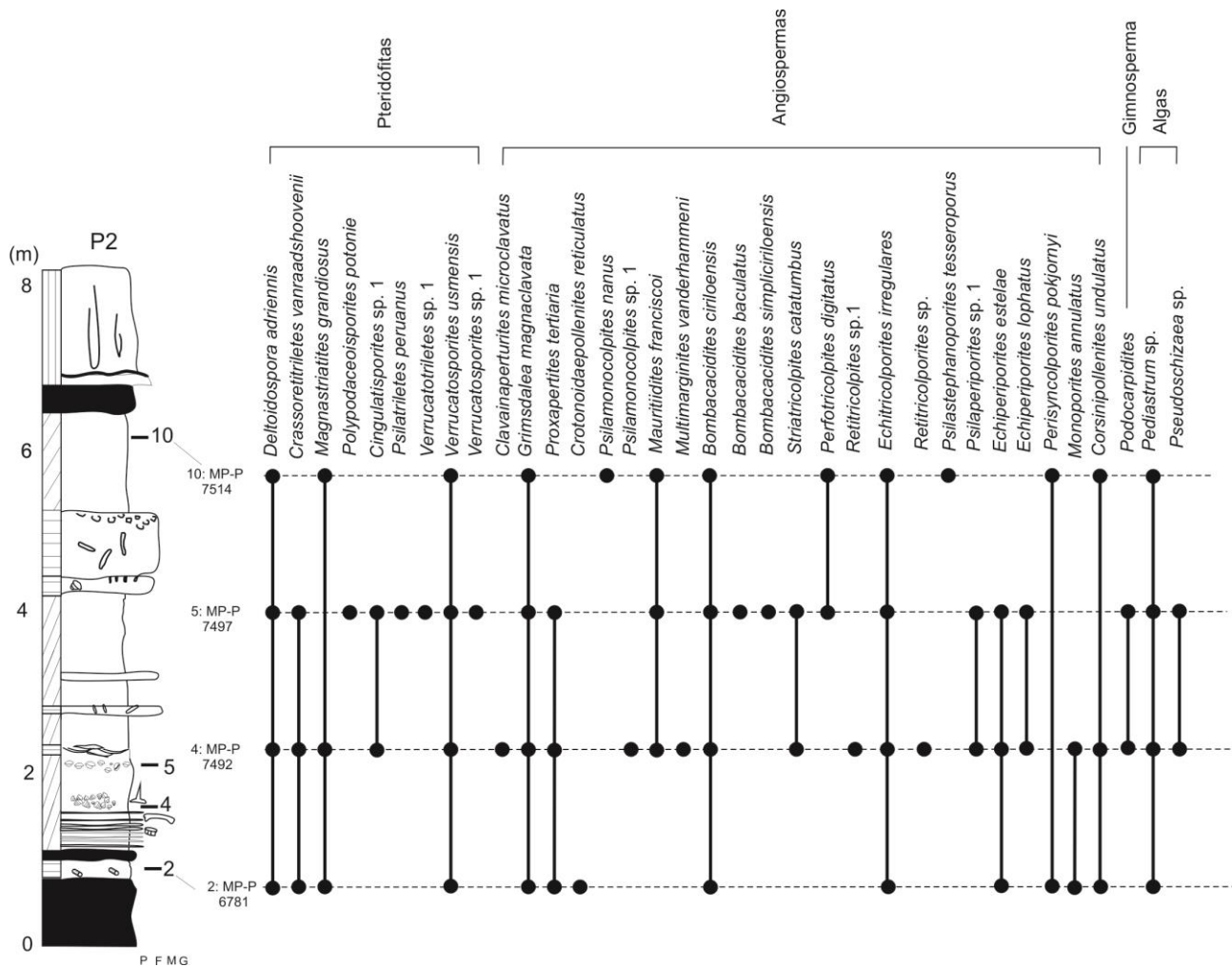


Figura 4. Distribuição estratigráfica dos táxons registrados no afloramento P2, margem direita do rio Javari, Atalaia do Norte, região do Alto Solimões, Amazonas. Pontos pretos correspondem a níveis de ocorrência; MP-P: referente à codificação de lâminas da Palinoteca do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo; a numeração de 2 a 10: níveis amostrados.

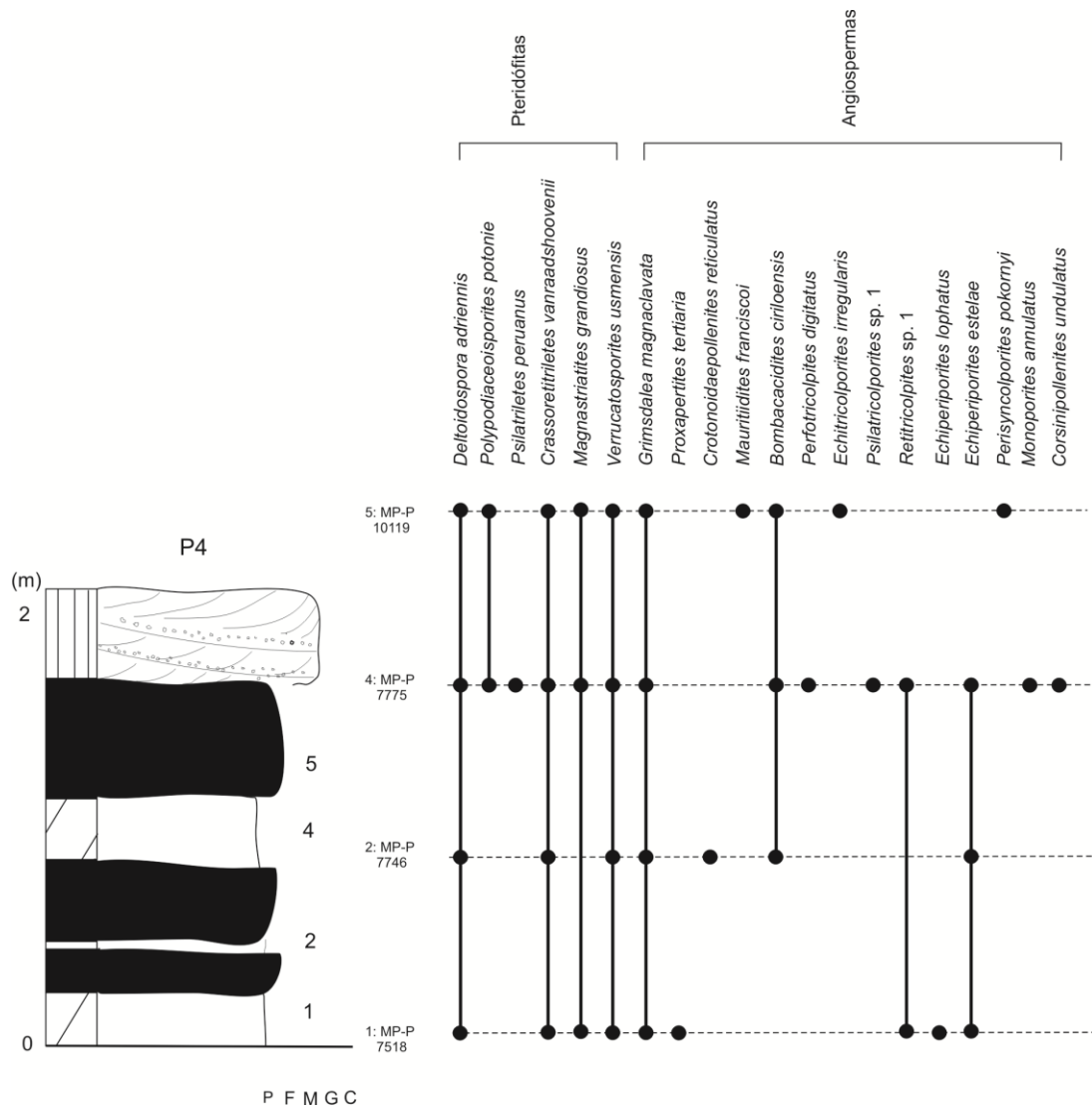


Figura 5. Distribuição estratigráfica dos táxons registrados no afloramento P4, margem direita do rio Solimões, Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas. Pontos pretos correspondem a níveis de ocorrência; MP-P: referente à codificação de lâminas da Palinoteca do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo; a numeração de 1 a 5: níveis amostrados.

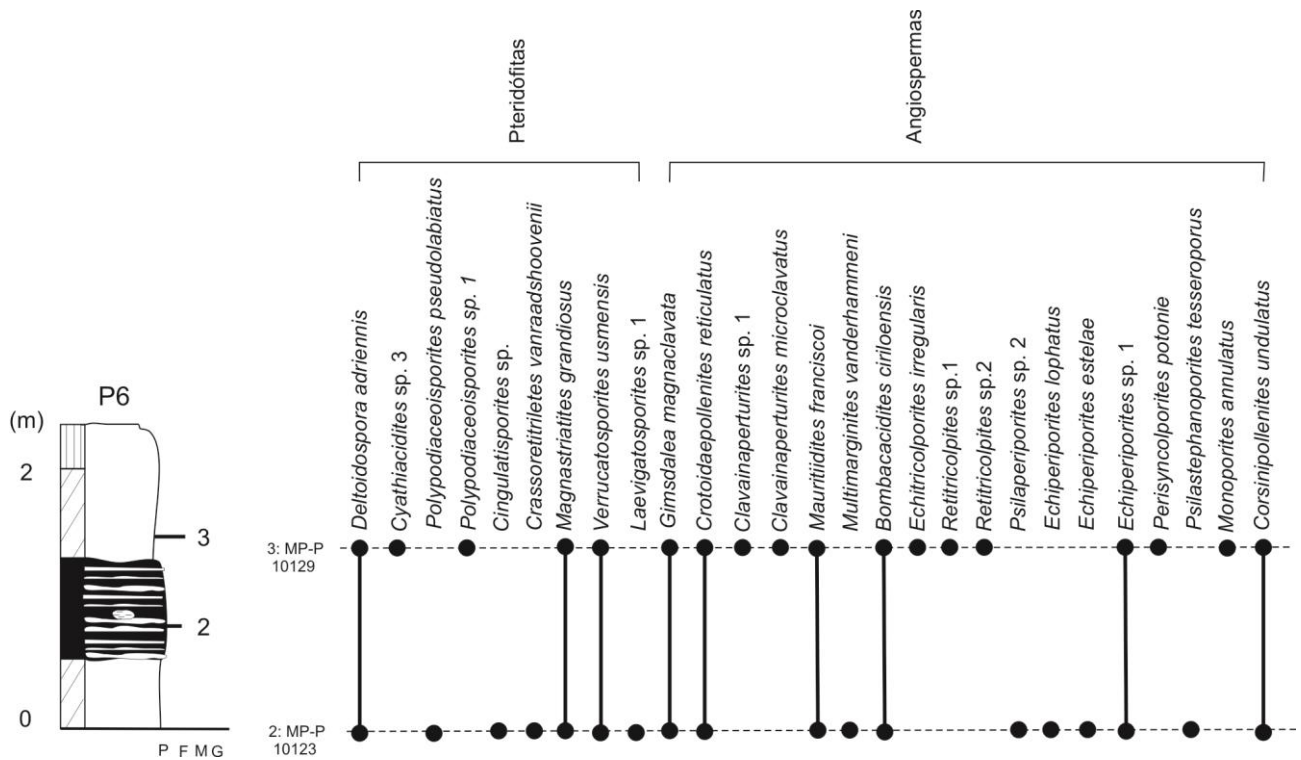


Figura 6. Distribuição estratigráfica dos táxons registrados no afloramento P6, margem direita do rio Solimões, Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas. Pontos pretos correspondem a níveis de ocorrência; MP-P: referente à codificação de lâminas da Palinoteca do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo; a numeração de 2 a 3: níveis amostrados.

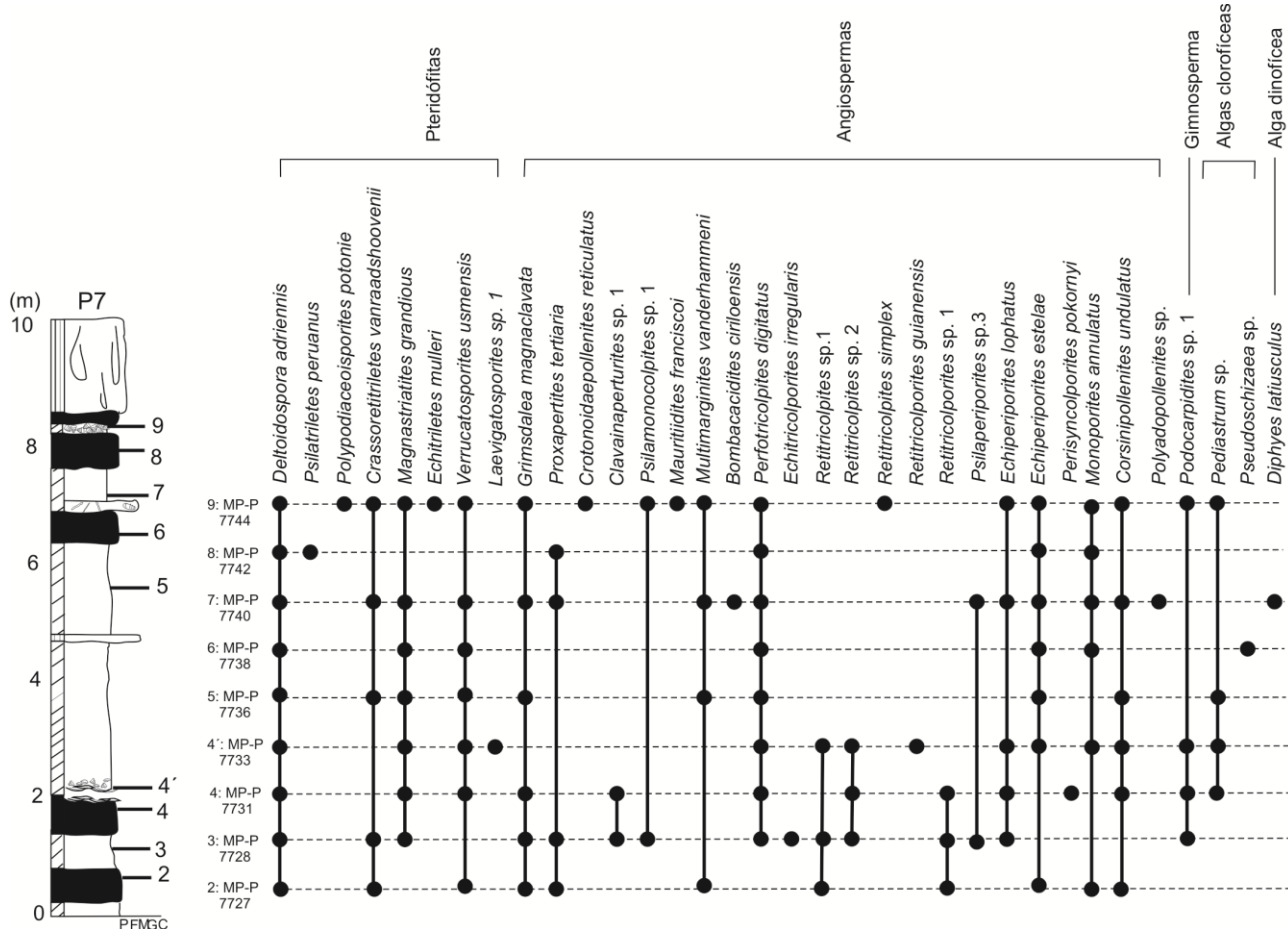


Figura 7. Distribuição estratigráfica dos táxons registrados no afloramento P7, margem direita do rio Solimões, Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas. Pontos pretos correspondem a níveis de ocorrência; MP-P: referente à codificação de lâminas da Palinoteca do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo; a numeração de 2 a 9: níveis amostrados.

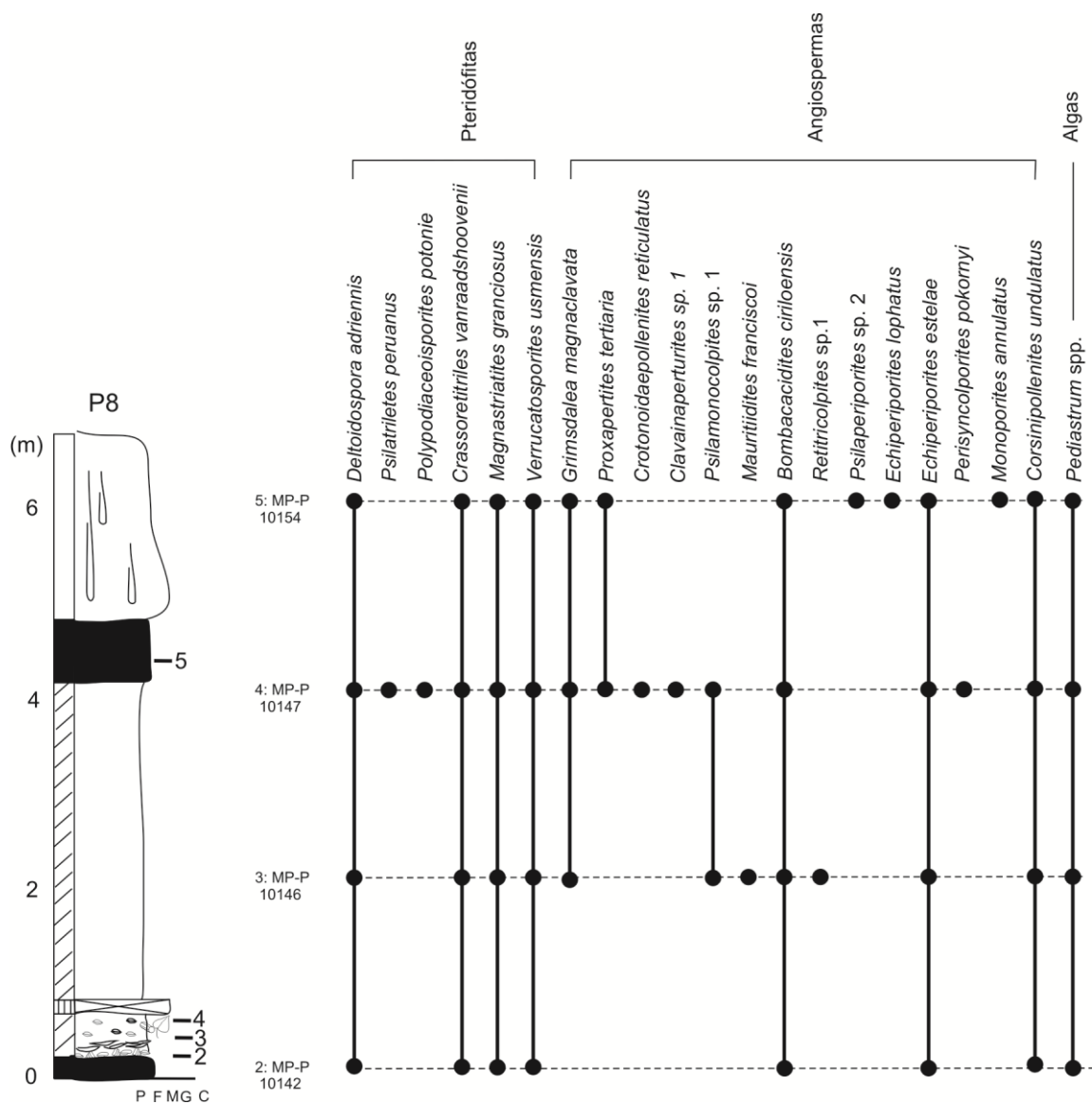


Figura 8. Distribuição estratigráfica dos táxons registrados no afloramento P8, margem direita do rio Solimões, Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas. Pontos pretos correspondem a níveis de ocorrência; MP-P: referente à codificação de lâminas da Palinoteca do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo; a numeração de 2 a 5: níveis amostrados.

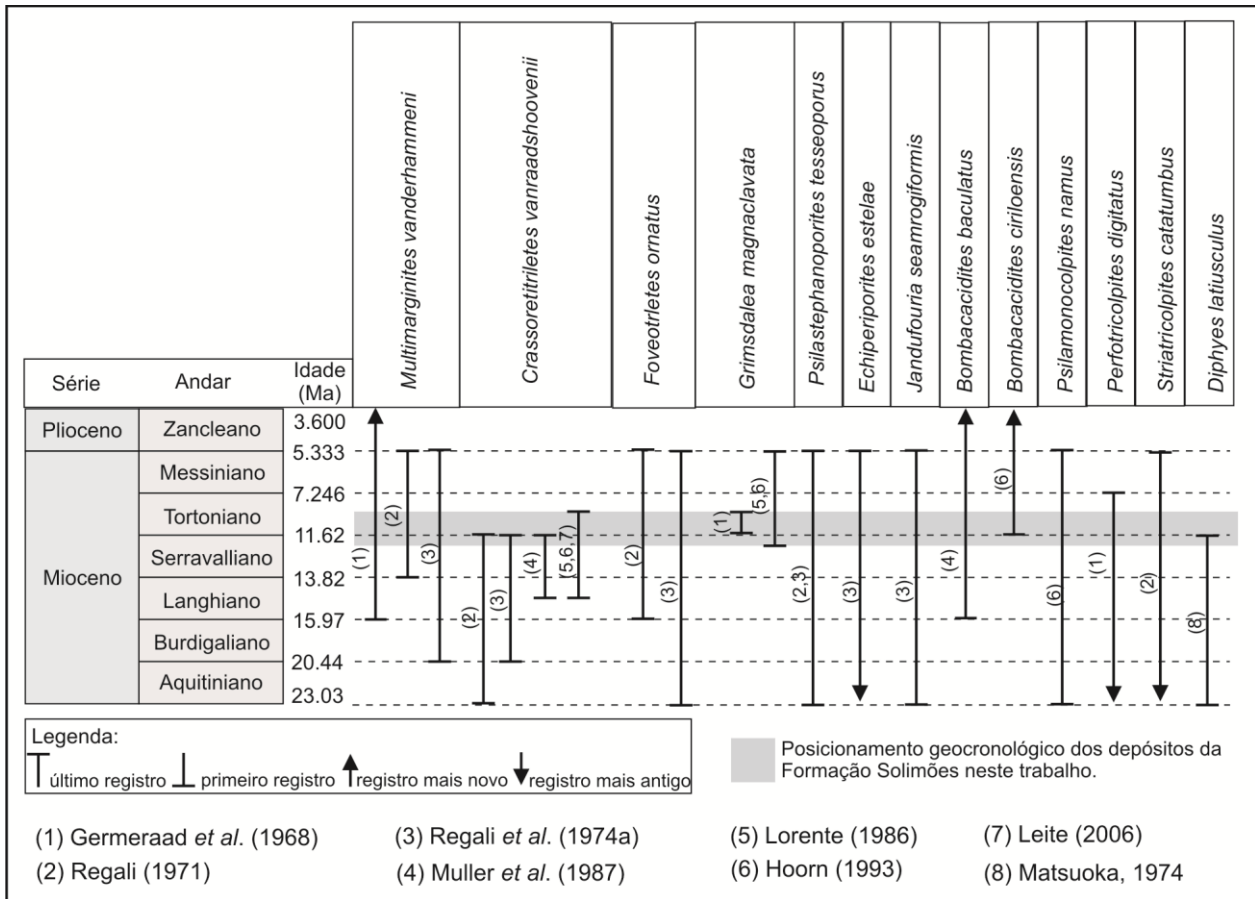


Figura 9. Amplitude estratigráfica de espécies guias identificadas nas amostras deste trabalho conforme literatura.

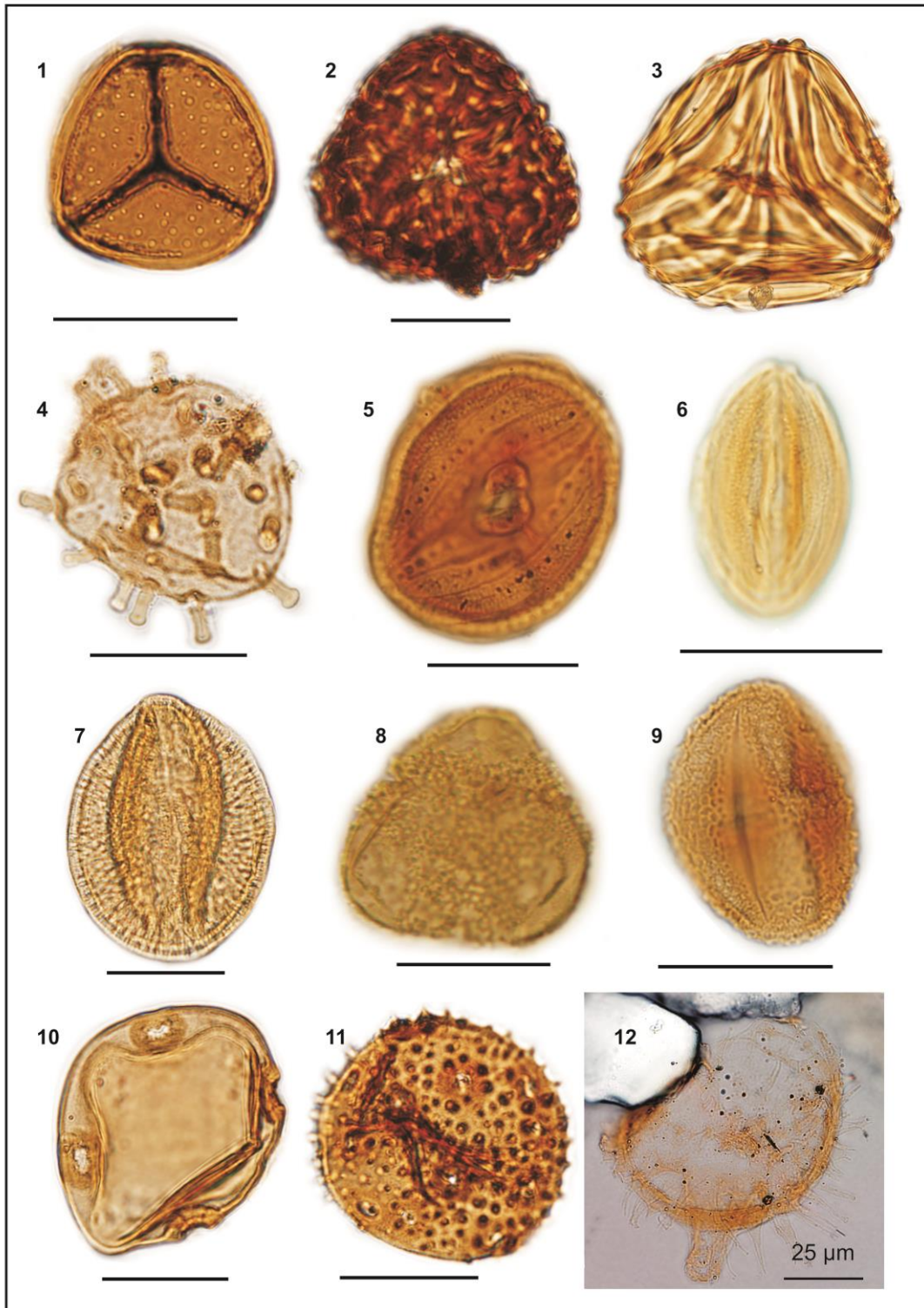


Foto 1. Fotomicrografías de polinormorfos seleccionados empregados como marcadores bioestratigráficos. 1) *Foveotriletes ornatus*; 2) *Crassoretitriletes vanraadshooveni*; 3) *Magnastriatites grandiosus*; 4) *Grimsdalea magnaclavata*; 5) *Multimarginites vanderhammeni*; 6) *Striaticolpites catatumbus*; 7) *Perfotricolpites digitatus*; 8) *Bombacacidites baculatus*; 9) *Retitricoporites guianensis*; 10) *Psilastephanoporites tesseropus*; 11) *Echiperiporites estelae*; 12) *Diphyes latiusculum*.

CAPÍTULO 4 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

A paleoflora das distintas áreas que foram alvo de investigações palinológicas apresenta contrastes em sua composição microflorística, bem como na idade dos depósitos. Para um melhor entendimento de seus pormenores, os resultados serão apresentados separadamente, por região de estudo, como se segue.

4.1 Região do Alto Solimões

4.1.1 Fácies e Paleoambiente

4.1.2 Características Palinológicas

4.1.3 Idade

4.1.4 Implicações Paleoecológicas

4.1.5 Paleoambiente e vegetação

4.2 Região de Coari

4.2.1 Fácies e Paleoambiente

4.2.2 Características Palinológicas

4.2.3 Idade

4.2.4 Implicações Paleoecológicas

4.2.5 Paleoambiente e vegetação

4.1. Região do Alto Solimões

4.1.1 Fácies e Paleoambiente

As exposições atribuídas à Formação Solimões às margens dos rios Javari e Solimões e o corte de estrada ao longo da rodovia BR-307 foram investigadas no período da vazante dos rios, no mês de novembro. As mesmas apresentam espessura máxima de 11 m (Figura 4.3), e se dispõem ao longo dos municípios de Atalaia do Norte, Benjamin Constant e Tabatinga.

A descrição dos afloramentos permitiu a identificação de 11(onze) fácies, conforme seguem:

- Pelito maciço (*Fm*) - compreende pelitos maciços cinza escuro, dispostos em camada de 0,75 cm. Essa fácies é observada apenas no corte de estrada ao longo da rodovia BR-307 (Figura 4.1C).
- Argilito e silito maciço (*Fsm*) - constitui-se de argilito e silito maciços cinza, aaispostos em corpos tabulares que variam de 20 cm a 3,5 m, podendo apresentar ou não moluscos preservados. Diferenciam-se dos *Fscf* pela proporção de conchas em relação à matriz; neste caso, a matriz apresenta maior volume (Figura 4.2A).
- Argilito e silito com moluscos (*Fscf*) - apresenta argilitos e silitos maciços tabulares cinza, com gastrópodes e/ou bivalves; neste caso, a matriz é menor representada que as conchas (Figura 4.2A). No caso dos bivalves, podem ser de dois tipos, diferenciando-se pelo tamanho e forma. Gastrópodes e bivalves podem ocorrer associados ou não. Nesta fácies as camadas variam de 15 a 75 cm de espessura.
- Silito/linhito rítmico (*Fl*) - corresponde a silitos cinza escuro e linhito, dispostos alternados em corpos tabulares, de espessura de 3 a 7 cm. São de representação local e têm, em seu arcabouço, a preservação de clasto de argila de 2,5 cm (Figura 4.2B)
- Linhito (*C*) - consiste em camadas de linhito pretas dispostas em corpos tabulares, que variam de 7 a 80 cm de espessura. É possível distinguir os lenhos que compõem o linhito, que variam de 25 cm a 2,5 m de comprimento (Figura 4.1A). Nas seções, os linhitos podem atingir até 5 (cinco) níveis de ocorrência.
- Arenitos com estratificação cruzada acanalada (*St*) - são arenitos médios a conglomerados amarelo esbranquiçado dispostos em estratificação cruzada acanalada, que ocorrem localmente em lobos inclinados, sobreposto à fácies *C*, acumulando troncos de 27 cm.

- Arenitos com estratificação cruzada acanalada incipiente (*Sti*) - correspondem a arenitos finos a grossos amarelo esbranquiçado ou cinza escuro em estratificação cruzada acanalada incipiente, que se dispõem em corpos tabulares, em geral em espessuras de 7 a 10 cm.
- Arenitos maciços (*Sm*) - consistem em arenitos amarelo cinza claro ou amarelo esbranquiçado (Figura 4.2C), dispostos em forma tabular, que variam de 5 a 35 cm, sendo pontualmente preservados tubos subverticais de 3,5 cm de comprimento, além de tubos sub-horizontais, que marcam o contato entre os corpos arenosos e siltitos/argilitos, na base da camada de arenito (Figura 4.2D). Nessa fácies, são preservados restos de quelônios e outros vertebrados indeterminados. Localmente, podem acumular bivalves de pequeno porte, além de carapaça de quelônios.
- Arenitos com laminação cruzada cavalgante (*Sc*) - correspondem a arenitos finos a médios cinza claro a avermelhado, dispostos em laminação cruzada cavalgante, em corpos tabulares de 75 cm de espessura. Essa fácies ocorre localmente (Figura 4.1B).
- Arenitos com marcas de onda (*Sr*) - comportam arenitos finos cinza claro, que formam marcas de ondas dispostas em corpos tabulares de até 0,7 cm, separadas por níveis ferruginosos ondulados avermelhados (Figura 4.1C).
- Conglomerado maciço (*Cm*) - compreende conglomerados maciços intraformacionais, com matriz de arenito médio, mal selecionado. Ocorre na fácies detritos de material vegetal, como troncos.

A análise estratigráfica permitiu o reconhecimento de três associações de fácies para essa região ocidental da Amazônia.

- *Planície de inundação*: consiste nas fácies pelíticas *Fsm*, *Fscf*, *Fl*, *C* e arenosas *Sm*, *St* e *Sti*, que ocorrem alternadas em corpos predominantemente tabulares. Localmente, os pelitos e siltitos são truncados por lobos de arenitos avermelhados finos a grossos, com estratificações cruzadas acanalada (*St*) e acanalada incipiente (*Sti*), ou arenitos amarelados maciços (fácies *Sm*). A fácies *C* é encontrada na maior parte dos depósitos investigados, podendo ocorrer em até 5 (cinco) níveis nos afloramentos. Essa associação de fácies é caracterizada pela preservação de vertebrados de diversas categorias na fácies *Sm*, enquanto os moluscos são preservados nos estratos pelíticos (*Fsm* e *Fscf*). Nessa associação, ainda que tenham sido reconhecidas fácies arenosas, estas são menos reportadas que as fácies finas.

- *Crevasse splay*: corresponde a corpos predominantemente de arenitos finos a médios cinza claro a avermelhado, alternando-se localmente pelitos cinza claro ou pelitos cinza escuro. Os arenitos finos cinza claro podem localmente apresentar laminação cruzada cavalgante (Figura 4.3B), dispostos em corpos tabulares (fácies *Sc*), recobrimdo os arenitos finos que formam *ripples* (fácies *Sr*) em camadas tabulares de até 0,7cm, sendo separados por níveis verruginosos ondulados avermelhados. Os estratos arenosos envolvem localmente corpos isolados de pelito maciço cinza escuro (fácies *Fm*) (Figura 4.1C). Essa associação de fácies é observada apenas no corte de estrada ao longo da rodovia BR-307, abaixo da acumulação da associação de fácies da planície de inundação (Figura 4.1A).
- *Canal fluvial meandrante*: associação apresenta arenitos médios a grossos em estratificações cruzadas (*St*), as quais ocorrem alternadas a conglomerado (*Cm*) que marca a geometria do canal. Abundantes fragmentos de madeira nos níveis de arenito das camadas heterolíticas são relacionados a depósitos de barra em pontal.

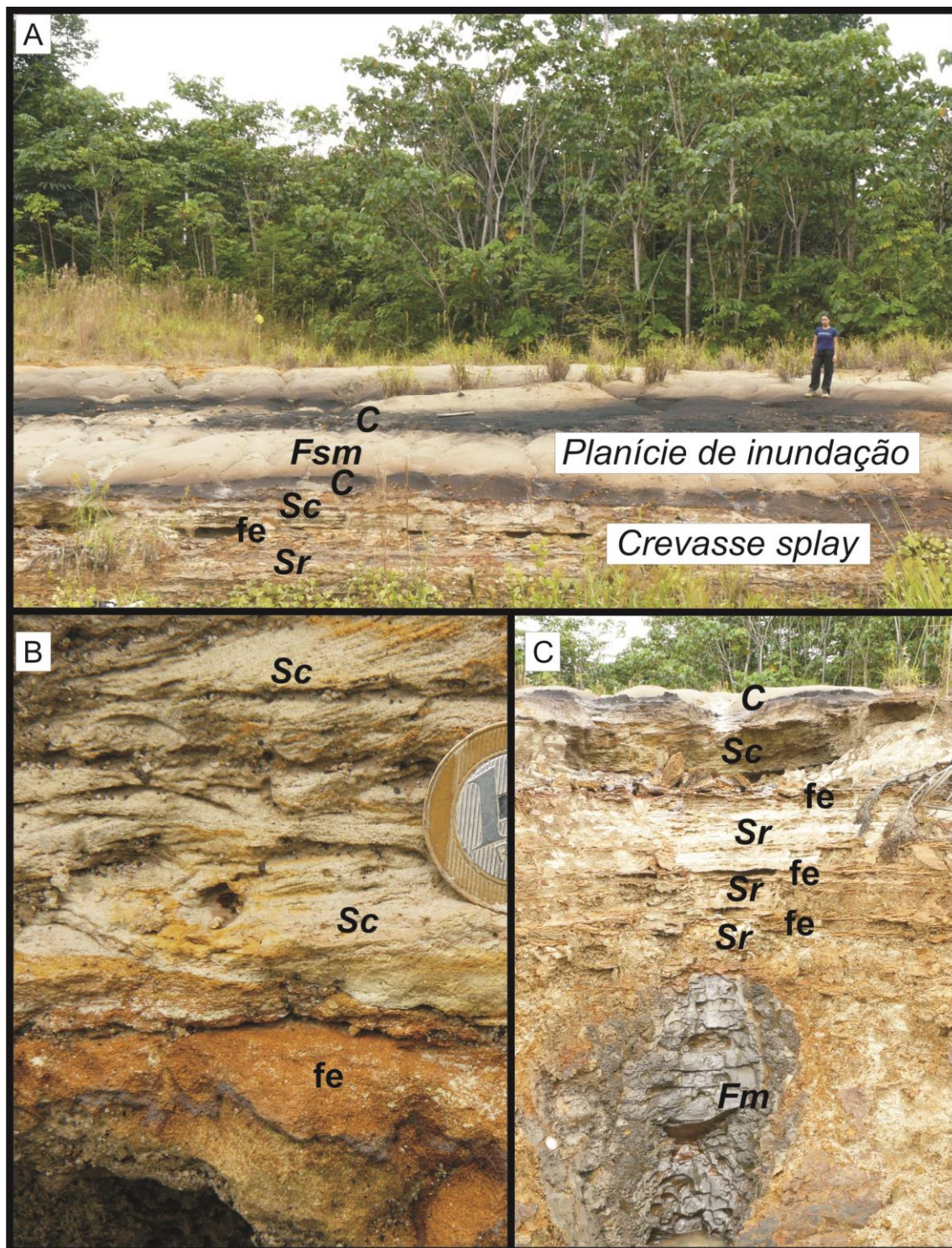


Figura 4.1. (A) Vista geral do corte de estrada ao longo da rodovia BR-307, na qual é possível visualizar duas associações de fácies para a Formação Solimões; (B) arenito fino esbranquiçado em laminação cruzada cavalgante, tendo em sua base contato com nível ferruginoso ondulado (fe); (C) detalhe das fácies sedimentares, com pelitos subordinados (*Fm*).

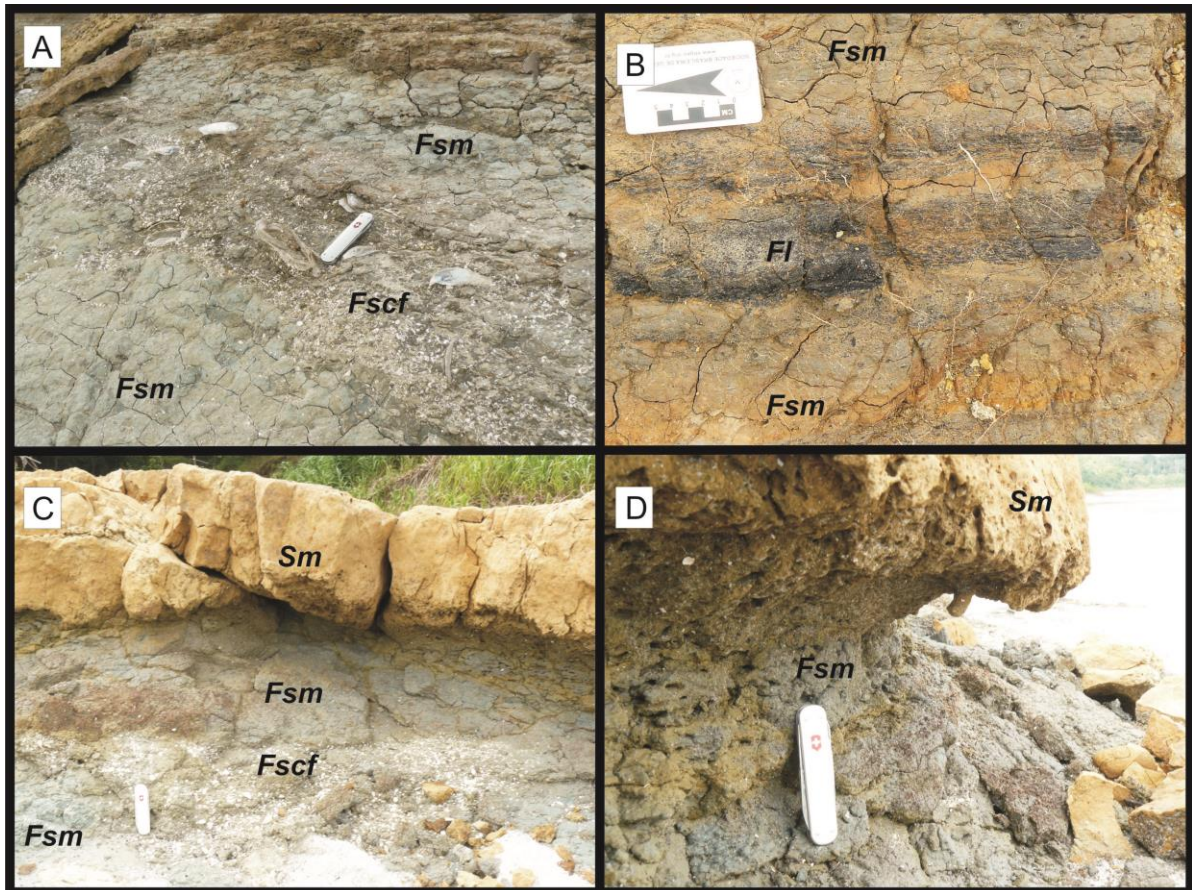


Figura 4.2. (A) Fácies finas e associação de conchas de bivalves e gastrópodes; (B) pelitos alternados a filmes de matéria orgânica (*Fl*), (C) arenitos maciços tabulares localizados; (D) icnofóssil subvertical na base da camada de arenito maciço, em contato com fácies finas (*Fsm*) da planície de inundação.

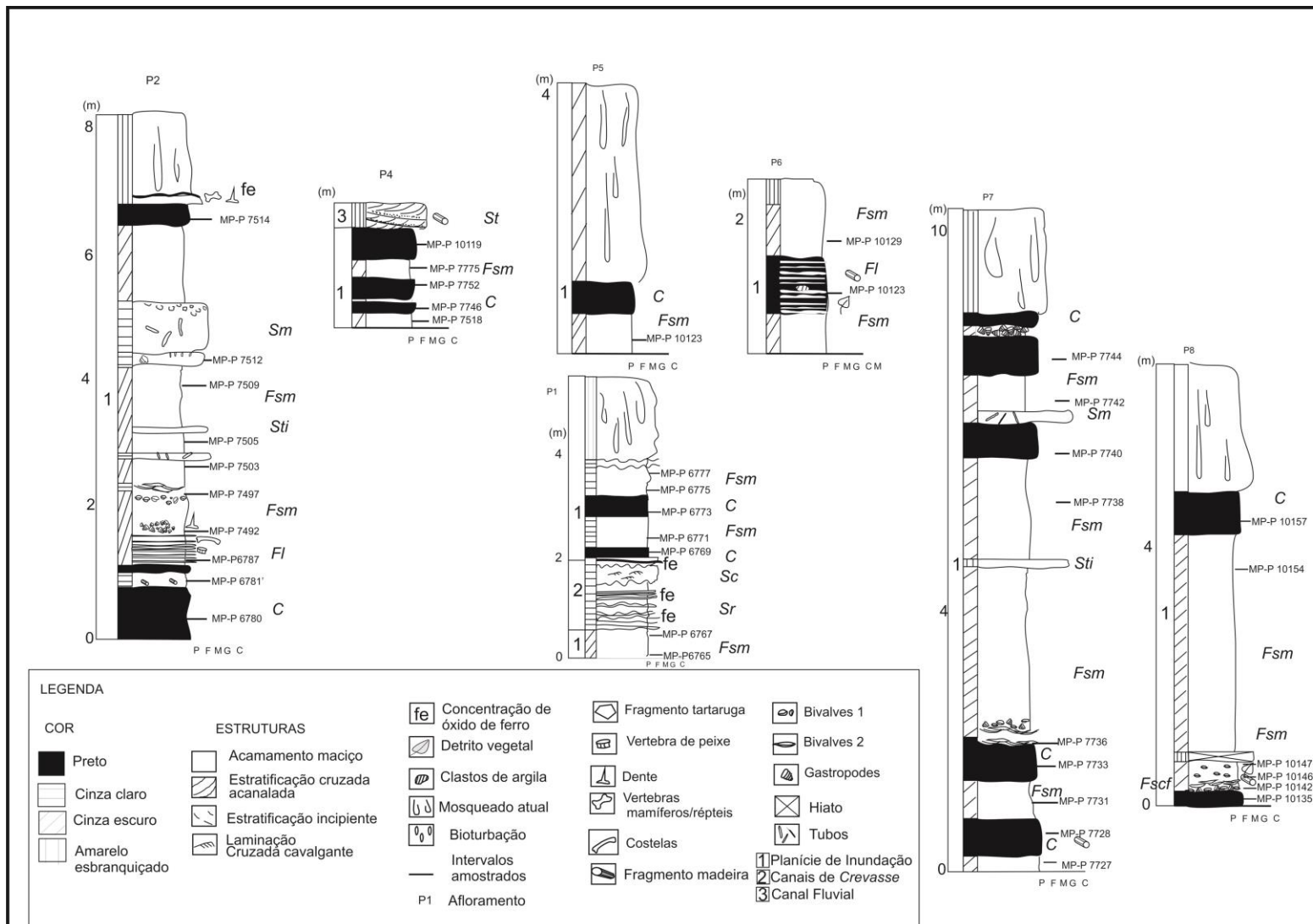


Figura 4.3. Perfis estratigráficos adquiridos para a região de Atalaia do Norte a Tabatinga, porção ocidental da Amazônia brasileira.

4.1.2 Características Palinológicas

A análise de seis afloramentos e de um corte de estrada realizada na região do Alto Solimões permitiu a confecção de sete diagramas de porcentagem palinológicos, que se encontram relacionados aos perfis estratigráficos respectivos (Figuras 4.7 a 4.13). Todas as seções levantadas distinguem-se daquelas realizadas para a região de Coari, tanto no que se refere às análises estratigráficas e palinológicas, quanto à idade dos depósitos.

Do ponto de vista estratigráfico, os perfis da região do Alto Solimões apresentam, no mínimo, um nível de linhito, intercalado por pelito cinza. O único perfil estratigráfico com clara distinção faciológica é o corte de estrada ao longo da BR-307 (Figura 4.1a), no qual se apresentam fácies arenosas (Figura 4.1b) relacionadas ao canal de *crevasse splay*.

Ainda que faciologicamente haja um contraste nos depósitos da região do Alto Solimões, não há controle da faciologia na composição microflorística, que pouco muda quando comparada à fase de acumulação que a sucede, no caso fácies de planície de inundação. Todavia, ocorre distinção por apresentarem oscilações nas proporções entre os táxons, que, em alguns níveis, se acham super-representados (Figura 4.7).

Na fácies *crevasse splay*, as pteridófitas *Deltoidospora*, tão comuns na área de estudo, cedem espaço para formas extintas como *Crassoretitriletes vanraadshoovenii* e *Magnastriatites grandiosus*. Em todos os níveis dessa associação de fácies, a erva *Monoporites annulatus* é documentada, oscilando de 8% a 20%. Nessa fácies, *Perfotricolpites digitatus* atinge 30%, não apresentando em qualquer outro perfil dado similar em representação.

Na fácies planície de inundação, desse mesmo ponto, continua a documentação de extintas pteridófitas como *Crassoretitriletes vanraadshoovenii* e *Magnastriatites grandiosus*, mas, neste caso, ocorre localmente a coexistência com árvores como *Bombacacidites ciriloensis* e *B. simpliciriloensis*, com 55% e 3%, respectivamente. Quanto à erva *Monoporites annulatus*, apresenta representação local em torno de 18%.

Formas como *Echiperiporites akanthos*, *Jandufouria seamrogiformis*, *Striatriletes saccolomoides* e pteridófitas monoletes verrucosos e psilados (Polypodiaceae) ocorrem unicamente no ponto P1, mas com baixa abundância. A alga *Botryococcus* ocorre unicamente em nível pelítico da associação de fácies *crevasse splay*, na qual há contribuição andina, representada pelas formas *Kuylisporites waterbolki*, *Podocarpidites* sp. 1 e *Podocarpidites* sp. 2.

Todos os outros perfis estratigráficos correspondem a planície de inundação, sendo documentados, de maneira geral, a erva *Corsinipollenites undulatus*, pteridófitas como *Deltoidospora adriennis*, *Crassoretitriletes varaadshovenii*, *Magnastriatites grandiosus* e *Verrucatosporites usmensis*, árvores e arbustos representados por *Crotonoidaepollenites reticulatus*, *Grimsdalea magnaclavata*, *Bombacacidites ciriloensis*, *Perforicolpites digitatus*, *Echiperiporites estelae*, *Perisyncolporites pokorny*, podendo, no entanto, não apresentar registro em alguns níveis amostrados ou estarem super-representados.

Pediastrum é uma alga recorrente nos depósitos de planície de inundação, e encontra-se relacionada aos depósitos onde ocorrem associados invertebrados. De acordo com Miranda (2013), esse tipo de alga é representativo de coluna de água rasa, rica em nutriente, onde se estabelecem condições de alta luminosidade.

O reconhecimento de um único cisto de dinoflagelado, *Diphyes* cf. *latiusculus*, sugere influência marinha para uma parte dos depósitos pelíticos da planície de inundação.

4.1.3 Idade

Entre a assembleia palinológica analisada neste trabalho foram encontrados alguns esporomorfos empregados como marcadores bioestratigráficos, tais como *Janduffouria seamrogiformis*, *Psilastephanoporites tesseroporus*, *Multimarginites vanderhammenii*, *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Bombacacidites bellus*, *B. ciriloensis*, *Psilamonocolpites nanus*, *Striatricolpites catatumbus*, *Retitricolpites guianensis* e *Grimsdalea magnaclavata*, além do dinocisto atribuído a *Diphyes latiusculus*.

Essas espécies encontradas apresentam distribuição estratigráfica variantes dentro do intervalo Mioceno ao Plioceno, como resposta aos distintos levantamentos palinológicos realizados no norte da América do Sul (Germeraad *et al.*, 1968; Regali, 1971; Regali *et al.*, 1974ab; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010; Jaramillo *et al.*, 2011) e no caso do dinocisto, encontrado na porção central do Japão (Matsuoka, 1974).

Muitas das formas aqui documentadas ocorrem relacionadas às zonas *Echitriletes muelleri* e *Packidermites diderixii*, do levantamento palinológico desenvolvido por Regali (1971), na Foz do Amazonas. A autora definiu a zona *Echitrilete muelleri* tendo limite inferior pela extinção de *Cicatricosisporites dorogensis* e o topo marcado pela extinção de *Echitriletes muelleri*. Essa zona é subdividida em três subzonas, sendo a última de interesse para este trabalho, por comportar a pteridófito *Crassoretitriletes vanraadshooveni*,

correspondente ao Mioceno Médio. Para a autora, a subzona *Crassoretitriletes vanraadshooveni* tem como base o desaparecimento da forma *Psilatricolporites triangularis* e o topo pela extinção da forma que dá nome à subzona. Já a zona *Packidermites diderixii* tem a base definida pela extinção de *Echitriletes muelleri* e o topo pela primeira ocorrência de *Packidermites diderixii*, e esse zoneamento não apresenta subdivisão, relacionado ao intervalo Mioceno Médio a Superior.

Nos níveis investigados por Regali (1971), na subzona *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, são documentados nanofósseis como *Sphenolitus heteromorphus* e os foraminíferos *Globorotalia fohsiperipheronda*, *G. peripheroacuta*, *Praeorbulina glomerosa*, *Globigerina rohri* e *Globorotalia kugleri*. Já na zona *Packidermites diderixii*, são registradas as formas *Clavatricoplites* sp., *Retitriletes sommeri*, *Cicatricosisporites cristatus*, *Foveotriletes ornatos*, *Jandufouria seamrogiformis*, *Kuylisporites waterbolki*, *Echitricolporites spinosus*, *Echitricolporites minutus*, *Multimarginites vanderhammenii*, *Dicolporites formosus*, *Grimsdalea magnaclavata*, *Multiareolites formosus*, *Striasyncolpites zwaardii*, *Fenestrites spinosus*, *Psilatricolporites divisus*, *Psilastephanoporites tesseroporus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Striatricolpites catatumbus*, *Zonocostites ramonae*, *Monoporites annulatus*, *Echiperiporites estelae*, *Retitricolporites irregulares*, *Psilatricolporites operculatus*, *Momipites africanus*, *Psilastephanocolporites fissilis*, *Polypodiaceoisporites potonie*, *Verrutricolporites rotundiporus*, *Perisyncolporites pokorny*, *Jussitriporites* sp., *Psilatricolporites maculosus*, *Echiperiporites akanthos*, *Syncolporites poricostatus*, *Retitricolporites guianensis*, *Psilatricolporites crassus* e *Magnastriatites grandiosus*.

A presença de *Multimarginites vanderhammenii* é limitada a poucos níveis de afloramentos de ocorrência na região de estudo. A espécie, de acordo como zoneamento de Germeraad *et al.* (1968), distribuiu-se ao longo do Mioceno Médio até o Plioceno. Já para Regali *et al.* (1974ab), a mesma se distribuiu ao longo das zonas *Crassoretitriletes vanraadshooveni* e *Grimsdalea magnaclavata*, da metade do Mioceno Inferior a Mioceno Superior. No oeste da Venezuela, Lorente (1986) encontrou *Multimarginites vanderhammenii* estendendo-se até a zona *Crassoretitriletes*.

Foveotrilete ornatos é de rara documentação nos depósitos superficiais da região estudada, e na região Amazônica apresenta distribuição estratigráfica restrita à zona *Pachydermites diderixii*, de Regali (1971), do Mioceno Médio a Superior.

Jandufouria seamrogiformis e *Psilastephanoporites tesseroporus* são espécies marcadoras do intervalo Mioceno, no zoneamento de Regali (1971), enquanto as formas

Multimarginites vanderhammenii, *Crassoretitriletes vanraadshooveni* e *Grimsdalea magnaclavata* limitam o intervalo. Para a área de estudo deste trabalho, todos os afloramentos apresentam as espécies *Crassoretitriletes vanraadshooveni* e *Grimsdalea magnaclavata*.

Em Regali *et al.* (1974ab), *Crassoretitriletes vanraadshooveni* tem o topo marcado pela extinção da forma homônima, e a base marcada pela extinção de *Psilatricolporites triangularis*, e corresponde à idade Mioceno Inferior. Já a Zona *Grimsdalea magnaclavata* é caracterizada pelo nível de extinção de *Grimsdalea magnaclavata* no topo, e a base marcada pela extinção de *Crassoretitriletes vanraadshooveni*. De acordo com esse levantamento, a ocorrência dessas formas marca o final do intervalo Mioceno Inferior.

Para Lorente (1986), a zona *Crassoretitriletes* é caracterizada pelo primeiro registro de *Crassoretitriletes varaadshooveni* e *Tricotomocolpites* sp., na base, enquanto o topo da zona é marcado pela primeira ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata*, e a idade correspondente a essa zona, de acordo com a autora, é Mioceno Médio. Já a zona *Grimsdalea* tem como base a primeira documentação de *Grimsdalea magnaclavata*, e o topo da zona coincide com o aparecimento de *Echitricolporites spinosus*, *Fenestrites spinosus* ou *Fenestrites spinosus*, e tem como idade Mioceno Médio a início do Mioceno Superior.

Hoorn (1993) identificou em seu zoneamento ecológico algumas zonas de Lorente (1986), e confere maiores peculiaridades a essas zonas para a porção ocidental da Amazônia brasileira. As autoras atribuem à zona de amplitude de *Crassoretitriletes varaadshooveni* como tendo base marcada pela primeira ocorrência de *Crassoretitriletes varaadshooveni* e seu topo assinalado pelo primeiro registro de *Grimsdalea magnaclavata*. A zona *Crassoretitriletes varaadshooveni* tem também o primeiro registro de *Echitricolporites spinosus*, *Retitricolporites ticuneorum*, *Bombacacidites baculatus* e *Illexpollenites* sp.

A Zona *Grimsdalea magnaclavata* tem a base marcada pelo aparecimento de *Grimsdalea magnaclavata* e topo indefinido para Hoorn (1993), pois é limitado pelo topo do testemunho. Já para Lorente (1986) o topo dessa zona é marcado pela primeira ocorrência de *Echitricolporites spinosus* e *Fenestrites spinosus* ou *F. longispinosus*. E no que diz respeito à Zona *Grimsdalea magnaclavata*, tem o primeiro registro de *Retitricolpites lorentae* e o último de *Bombacacidites bellus*.

Jaramillo *et al.* (2011), em levantamento bioestratigráfico desenvolvido na Colômbia e áreas adjacentes, empregando palinologia e foraminíferos, registraram distribuições das formas *Grimsdalea magnaclavata* e *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*, e propuseram idades distintas de todos os zoneamentos apresentados até então. De acordo com os autores,

a zona do pólen *Grimsdalea magnaclavata* (T-14) tem a base delimitada pelo aparecimento da forma que dá nome à zona, e seu topo é marcado pelo aparecimento de *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*, e a idade desta zona decorre de parte do Mioceno Inferior e Mioceno Médio (16,1 a 14,2 Ma). A Zona *Crassoretitriletes vanraadshoovenii* (T-15) tem a base marcada pelo primeiro registro da forma homômina, e o topo revela o primeiro registro de *Fenestrites spinosus*, a idade da zona é Mioceno Médio (14,2 a 12,7 Ma).

A presença de *Crassoretitriletes vanraadshoovenii* é documentada de modo geral entre o intervalo Serravaliano até a metade do Tortoniano, em coocorrência com forma-guia como *Grimsdalea magnaclavata* durante todo o intervalo. Excetuando trabalho de Jaramillo *et al.* (2011), em que ocorre inversão no intervalo de distribuição desses palinomorfos.

O dinocisto *Diphyes latiusculus* é documentado pela primeira vez por Matsuoka (1974), e o autor os relaciona à Formação Toyoda (Grupo Fujiwara) do Mioceno Inferior ao Mioceno Médio, do Japão. Na região de estudo, no entanto, a amplitude estratigráfica dessa espécie é ampliada, uma vez que neste trabalho a associação palinológica reconhecida assinala a transição do final do Serravaliano ao Tortoniano.

4.1.4 Implicações Paleoecológicas

A microflora levantada para a região do Alto Solimões compreende predominantemente miósporos de fontes terrestres, todavia com influência marinha local. Assim como na região de Coari é constatado predomínio de pteridófitas, neste caso representado principalmente por *Deltoidospora adriennis*, *Magnastriatites grandiosus* e *Crassoretitriletes vanraadshoovenii* indicativos de condições de alta umidade.

Dentre os elementos aquáticos, *Magnastriatites grandiosus* (*Ceratopteris*) apresenta-se oscilando de 2% a 40% e associado a abundantes esporos de fungo, que são indicadores de condições de calor e umidade. A presença de *Botryococcus* e particularmente *Pediastrum*, em grande número e diversificadas formas, que podem corresponder a fases ontogenéticas ou corresponder a distintos táxons. Isso sugere deposição em lagoas de água-doce, lagos e/ou rios lentos, possivelmente em condições eutróficas. Por outro lado, a presença de *Diphyes* cf. *latiusculus* indica influência marinha pelo menos em uma fase de acumulação desses depósitos, onde não são registrados *Pediastrum* spp. o que evidencia oscilações no aporte sedimentar. No caso de *Pediastrum*, só foi possível a visualização empregando a fluorescência.

Variados representantes de várzea são reconhecidos para esses depósitos, tais como *Multimarginites vanderhammeni*, *Perforicolpites digitatus*, *Retitricolpites simplex*,

Bombacacidites ciriloensis, *B. bellus*, *B. simpliciriloensis*, *Proxapertites tertiaria*, *Psilamonocolpites nanus*, *Polypodiaceoisporites potonie*, *Perisyncolporites pokornyi* e *Jandufouria saemrogiformis*. A estagnação como ambiente pantanoso é corroborada pela formação de linhito, e confirmada pela preservação de níveis ricos em *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Mauritiidites franciscoi* e *Corsinipollenites* sp.

4.1.5 Paleoambiente e vegetação

Para os depósitos da Formação Solimões, na região do Alto Solimões, foi registrada influência marinha, ainda que pontual, mostrando que dentre as áreas investigadas para o Alto Solimões, com certeza o mar teria tido influência na região de Tabatinga, pelo menos na fase inicial do Neomioceno. Isto contradiz o trabalho de Silva-Caminha *et al.* (2010), que afirmam que esses depósitos seriam de natureza exclusivamente continental durante todo o decorrer do Neomioceno.

Na região do Alto Solimões predominam fácies finas e orgânicas, como linhito, relacionadas a uma extensa área de planície fluvial, pântanos conectados e complexos, o que o torna compatível com um sistema fluvial anastomosado. Regiões de ruptura de diques marginais são raros e evidenciam áreas onde os distributários formam depósitos de *crevasse splay*. A paleovegetação era composta por árvores e arbustos, palmeiras, samambaias, além de numerosas e diversificadas algas de água-doce (Figura 4.4).

Sistema fluvial anastomosado com influência marinha

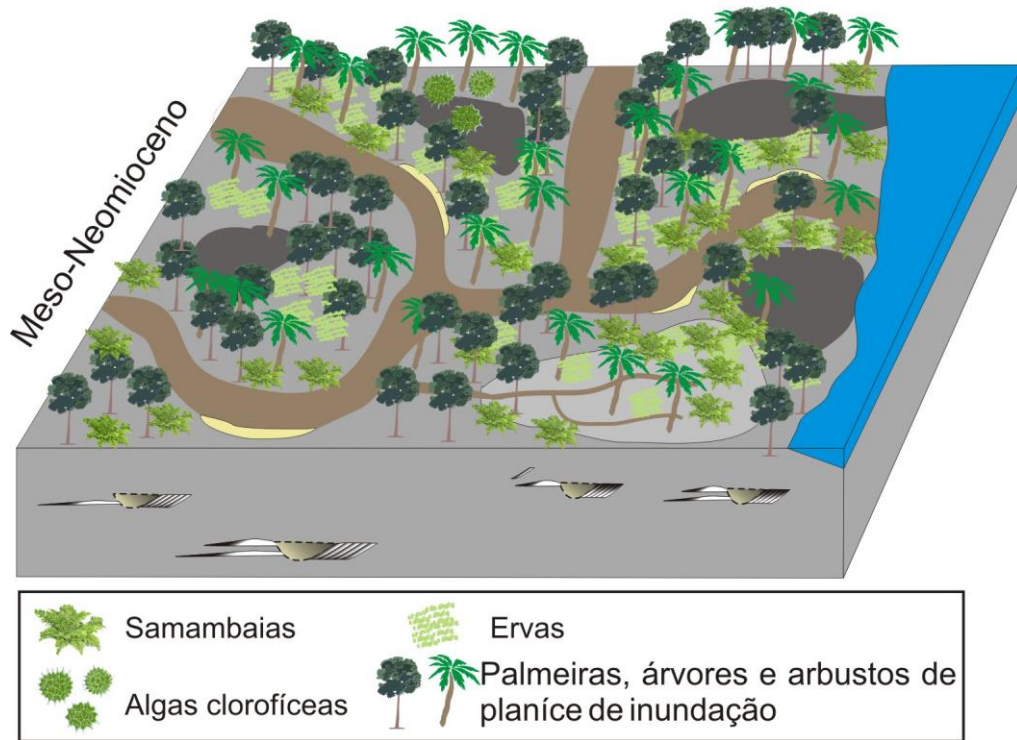


Figura 4.4. Bloco diagrama mostrando o paleoambiente da Formação Solimões na região de Atalaia do Norte e Tabatinga e a composição geral da paleoflora.

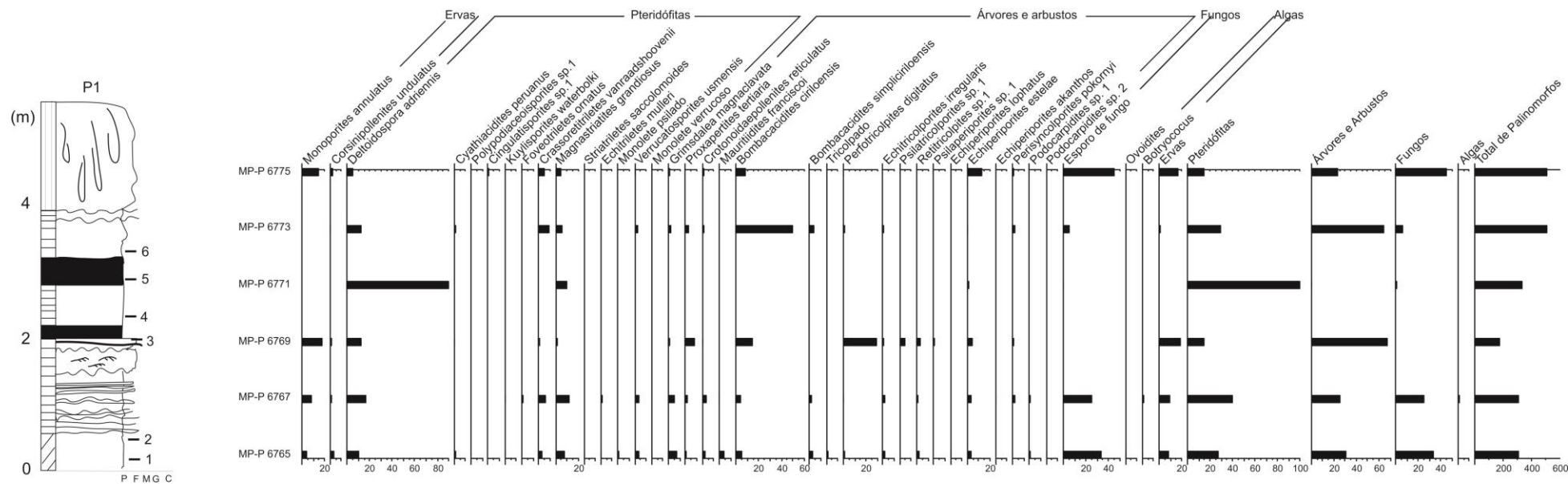


Figura 4.5. Diagrama polínico do afloramento P1, corte de estrada na BR-307, estrada Atalaia do Norte e Benjamin Constant, região do Alto Solimões, Amazonas.

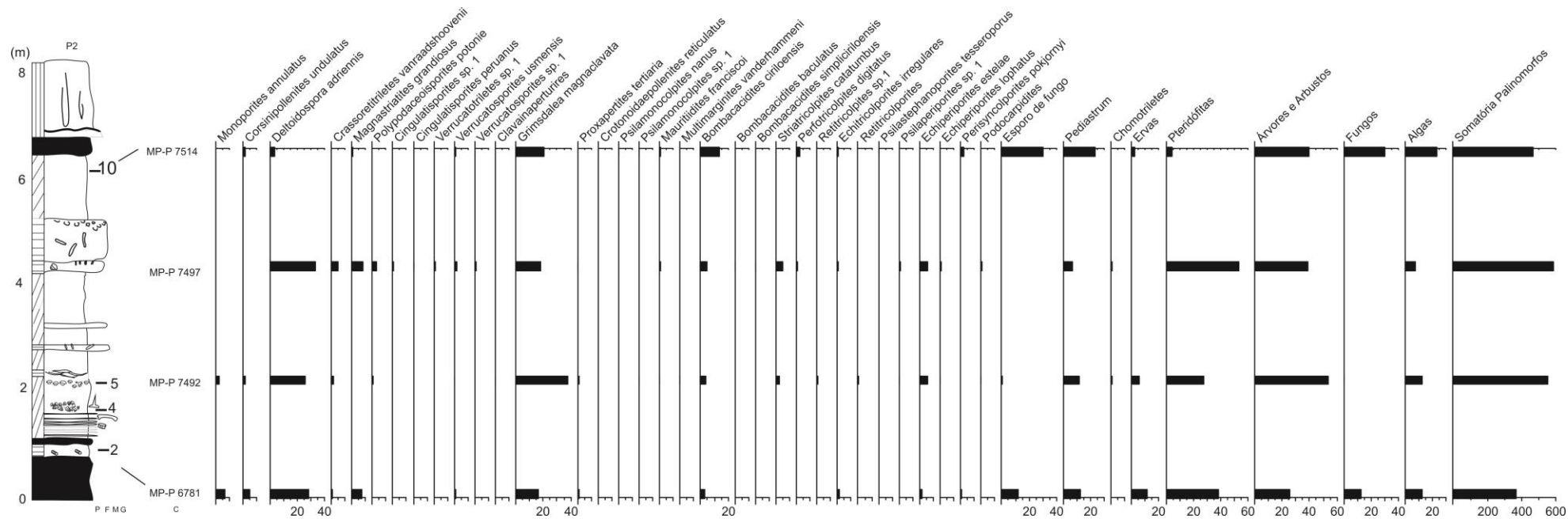


Figura 4.6. Diagrama polínico do afloramento P2, margem direita do rio Javari, município de Atalaia do Norte, região do Alto Solimões, Amazonas.

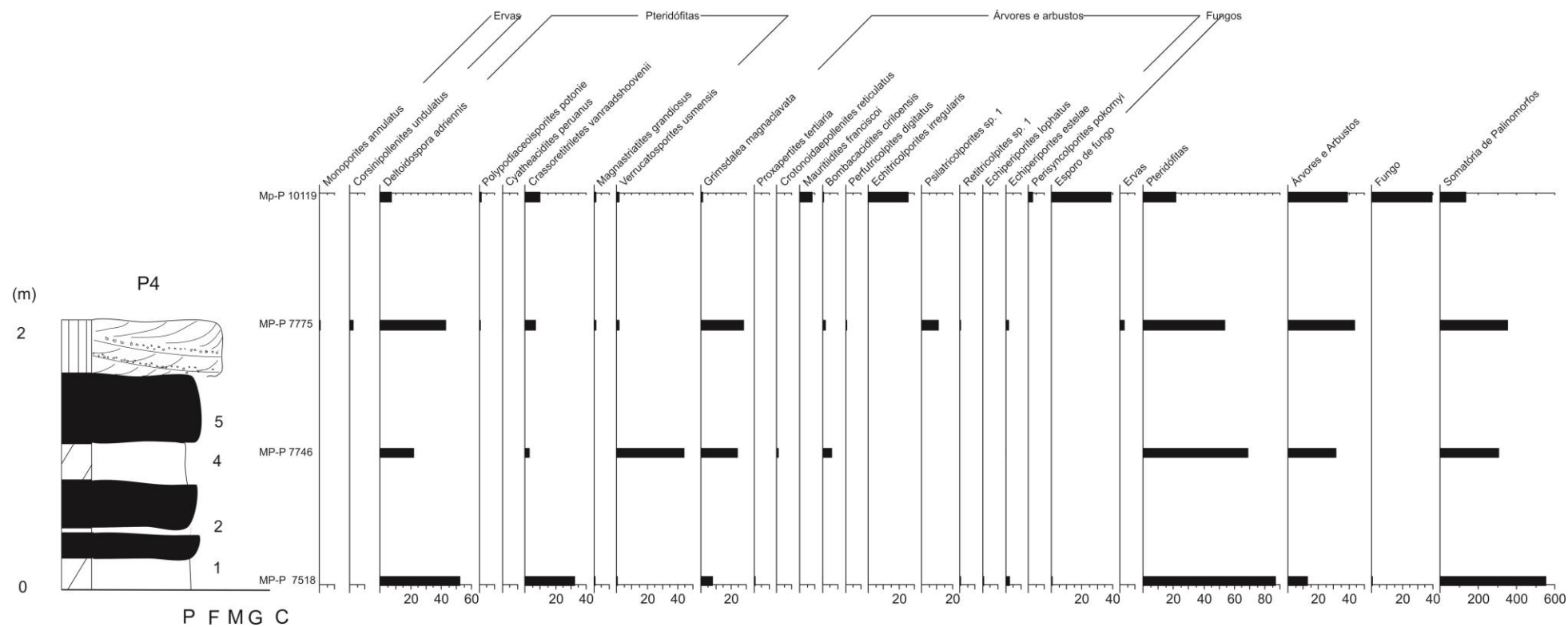


Figura 4.7. Diagrama polínico do afloramento P4, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas.

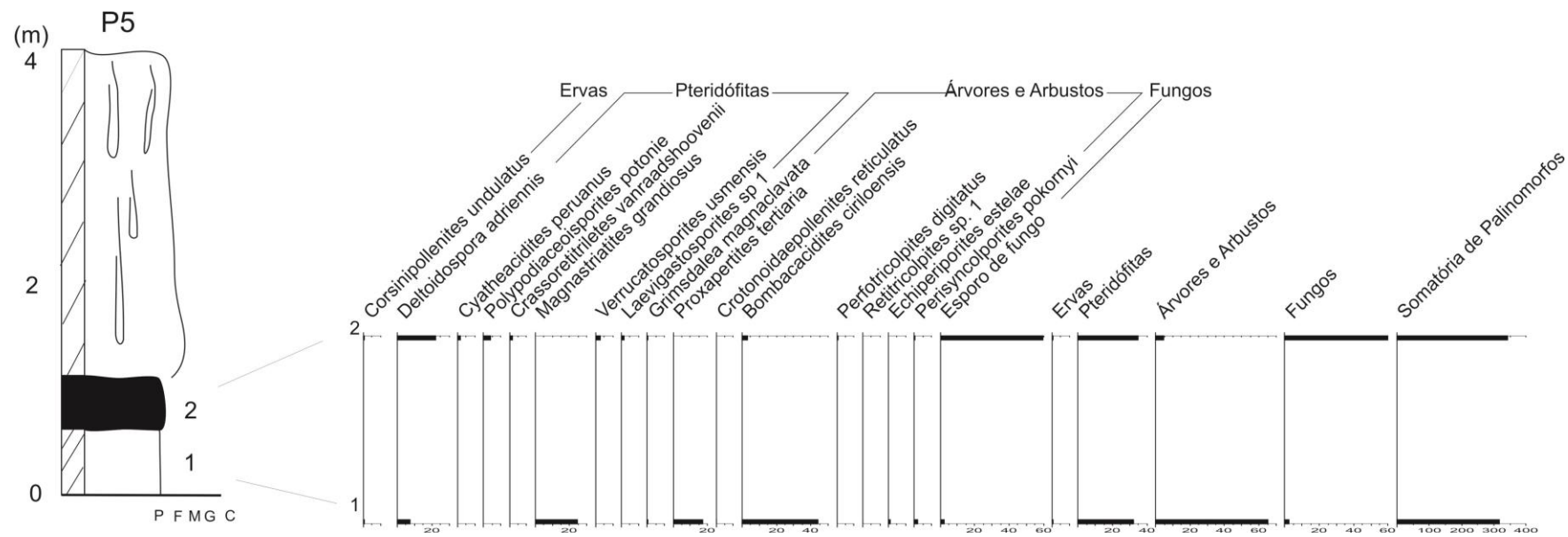


Figura 4.8. Diagrama polínico do afloramento P5, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas.

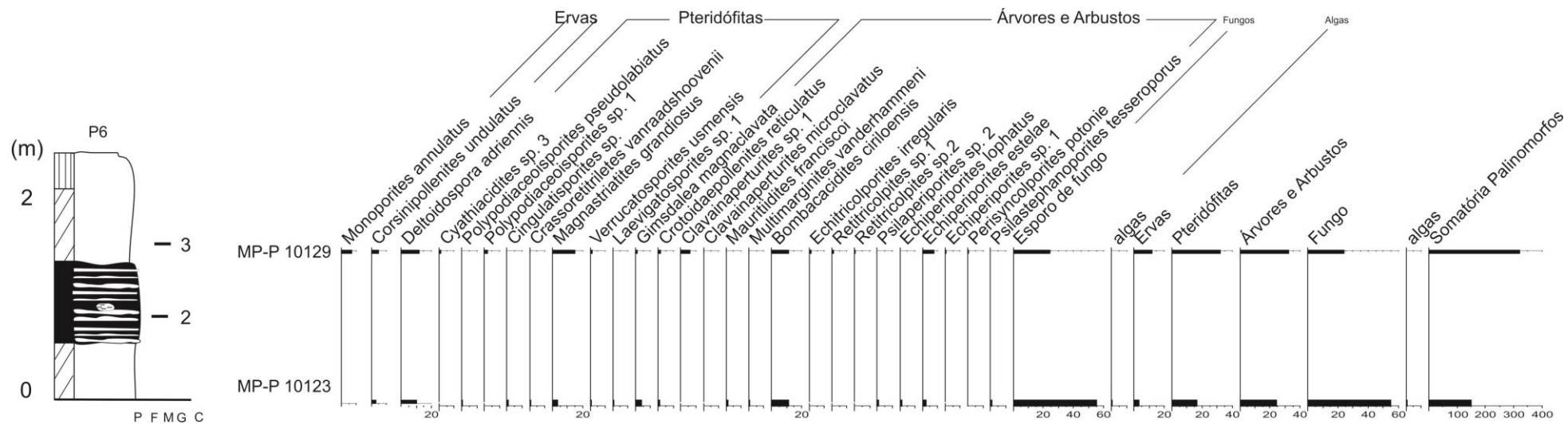


Figura 4.9. Diagrama polínico do afloramento P6, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas.

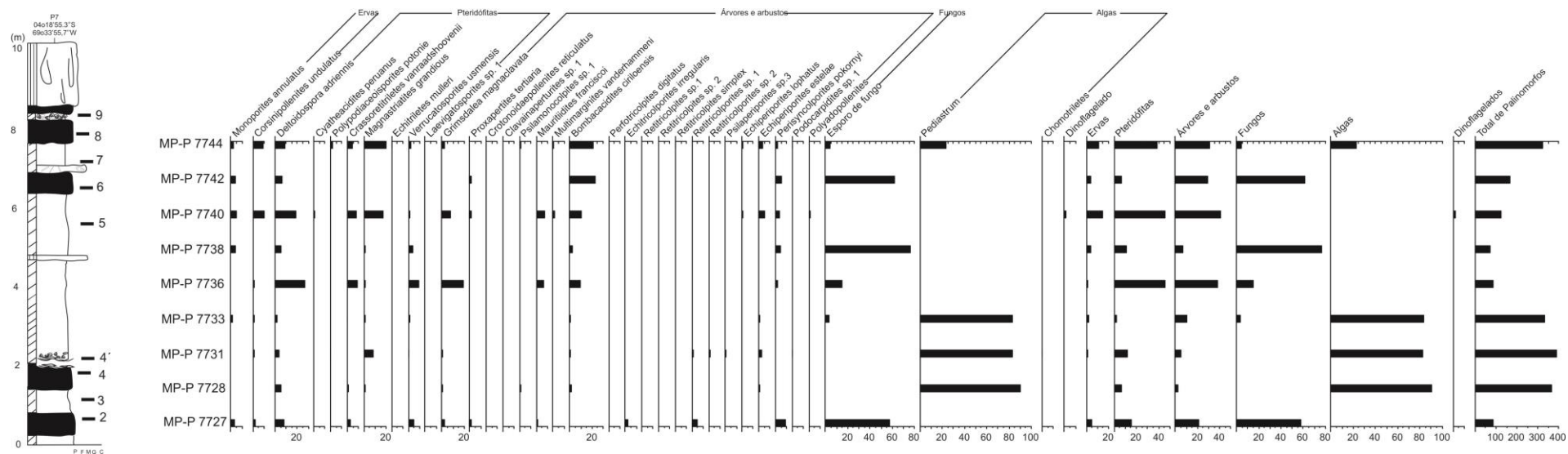


Figura 4.10. Diagrama polínico do afloramento P7, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas.

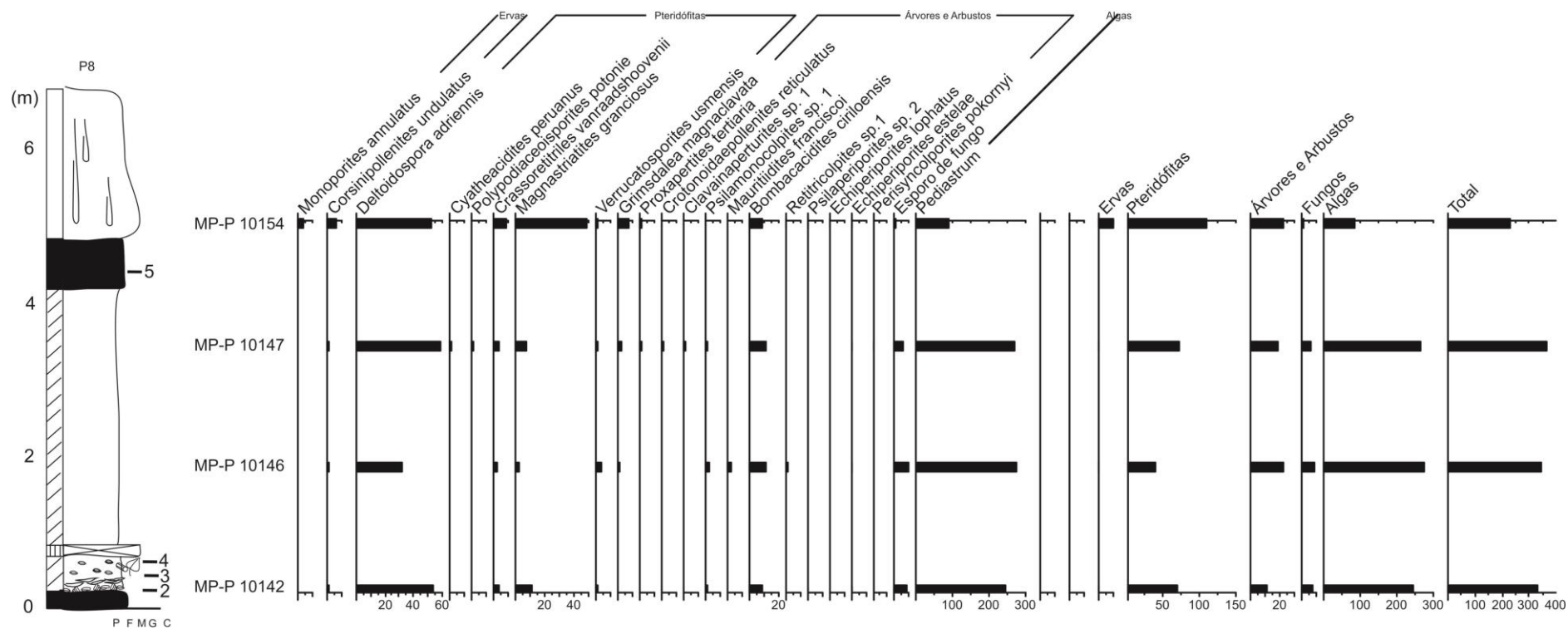


Figura 4.11. Diagrama polínico do afloramento P8, margem direita do rio Solimões, município de Tabatinga, região do Alto Solimões, Amazonas

4.2. Região de Coari

4.2.1 *Fácies e Paleoambiente*

As exposições atribuídas às formações Solimões e Içá, na região de Coari, ocorrem restritas às margens do rio Solimões e apresentam espessura máxima de 12 m (Figura 4.12). Neste trabalho, as fácies foram delimitadas com base nos seus atributos de geometria, textura e estruturas sedimentares, sendo empregada a associação de fácies. A descrição dos afloramentos permitiu a identificação de 10 (dez) fácies, descritas a seguir.

- Pelito laminado (*Fl*) - composta de pelitos, siltitos e subordinadamente arenitos muito finos, que formam lentes ou camadas desde 16 cm até 3 m. Frequentes ocorrências de elementos vegetais, como folhas, preservados nos planos de laminação.
- Pelito/arenito com detritos vegetais (*Fsv*) - pelitos, siltitos e arenitos muito finos maciços, na forma de lentes e/ou camadas contínuas, com espessuras que variam de 0,5 a 2 m, com abundantes detritos vegetais, como galhos, folhas e sementes, além de troncos de até 30 cm de comprimento.
- Arenito com laminação cruzada cavalgante (*Sc*) - consiste em arenito fino a muito fino e silito grosso, com laminação cavalgante supercrítica e subcrítica, com *sets* de 6 cm de espessura, que formam camadas de até 3,5 m.
- Arenito com estratificação cruzada (*Scs*) - compreende arenitos finos em estratificação cruzada planar a ondulante de até 50 cm de espessura. A estratificação plano-paralela exhibe lateralmente suaves ondulações, sendo, em geral, cortada por superfícies de reativação, que geram truncamentos de baixo ângulo, intercalando-se com estratificação cruzada sigmoidal.
- Arenito/pelito deformado (*Sd*) - corresponde a arenitos finos a muito finos e pelitos que se dispõem em acamamento inclinado heterolítico, formando dobras convolutas antiformes com 1,2m de comprimento e 50 cm de altura, com plano axial aproximadamente vertical.
- Arenito/pelito com estratificação inclinada heterolítica (*SFi*) - camadas centimétricas de pelitos e arenitos finos e subordinadamente conglomerados, dispostos em *cosets* imbricados, formando estratificação inclinada heterolítica. De acordo com Vega (2006), as camadas exibem mergulhos de 30° e diminuem lateralmente para 10° em sentido para ESE.

- Arenito com estratificação plano-paralela (*Se*) - consiste em arenito fino a médio avermelhado, que forma estratificações plano-paralelas de espessura que varia de 7 a 25 cm.
- Arenito em estratificação cruzada (*St*) - corresponde a arenito fino a médio amarelo esbranquiçado disposto em estratificação cruzada em espessura que não excede 50 cm.
- Arenito maciço (*Sm*) - esta fácies comporta arenito muito fino a fino maciço, podendo, ainda, apresentar laminação incipiente, em geral associada às fácies arenosas.
- Conglomerado maciço (*Cm*) - compreende conglomerados maciços intraformacionais, com matriz de arenito fino bem selecionado. Os seixos são de pelito, arredondados a bem arredondados, com diâmetro de 5 cm e, mais raro, podem atingir 35 cm de diâmetro. Ocorre na fácies detritos de material vegetal, como folhas e troncos.

A análise estratigráfica realizada na região permitiu a individualização de três associações de fácies para a Formação Solimões, das dez encontradas por Vegas (2006). As três são descritas a seguir.

- *Prodeltalacustre* - consiste na associação de fácies de pelitos (*Fl*, *Fsv*) e subordinadamente intercalações de fácies arenosas (*Alc*, *Apd*) de cor cinza escura, com variação de 50cm a 6m de espessura, ocorrendo em camadas tabulares e pontualmente inclinadas de baixo ângulo (até 5°), que se estendem lateralmente e formam sucessão granocrescente ascendente quando relacionada a fácies arenosas. Nessa associação de fácies, é recorrente a preservação de matéria orgânica, porém sem indícios de bioturbação.
- *Frente deltaica* - essa associação comporta arenitos vermelhos muito finos a finos em estratificação cruzada e geometria sigmoidal, estratificação planar a ondulante, laminação cruzada acanalada e estruturas deformacionais, correspondentes às fácies *Scs*, *Sm* e *Sc*. Está relacionada ou separada por finas camadas de pelito cinza claro, formando pelito/arenito com detritos vegetais (*Pav*), pelitos laminados cinza escuro (*Pl*), que apresentam geometria em lobos inclinados, com frequente tendência a ciclos de granocrescência ascendente. Além disso, ocorrem arenitos muito finos e pelitos cinza escuro, de até 20 cm de espessura, que formam intercalações de camadas heterolíticas e pelíticas (*Alc*), em geral em contato abrupto entre si, mas que podem promover ciclos granocrescente ascendentes ou granodecrescente

ascendentes. Essa associação de fácies apresenta potencial para a preservação de palinomorfos, ainda que em menor grau de preservação que a associação prodelta.

- *Canal distributário* - essa associação apresenta pelitos alternados a arenitos finos, formando estratificação inclinada heterolítica (*inclined heterolithic stratification* - IHS), correspondente à fácies *SFi*. A porção basal da IHS é marcada por conglomerados intraformacionais ricos em restos de plantas e seixos de pelito (fácies *Cm*).

Em depósitos da Formação Içá, encontram-se duas associações de fácies, descritas a seguir.

- *Canal fluvial meandrante* - associação de arenitos médios a finos alternados a camadas de pelito, formando IHS (*SFi*) e conglomerados intraformacionais com seixos de argila (*Cm*). Essa associação também apresenta arenitos finos a médios em estratificações cruzadas (*St*) e estratificação plano-paralela (*Se*), as quais ocorrem alternadas a conglomerado (*Cm*) que marca a geometria do canal. Abundantes fragmentos de madeira nos níveis de arenito das camadas heterolíticas são relacionados a depósitos de barra em pontal. As camadas de arenito formam ciclos granodecrescente ascendentes.
- *Planície de inundação* - caracterizada por pelitos laminados (*Pl*), localmente alternada por arenitos com estratificação plano-paralela (*Se*). Carvão e detritos vegetais são raros na associação. É organizada em ciclos granodecrescente ascendente.

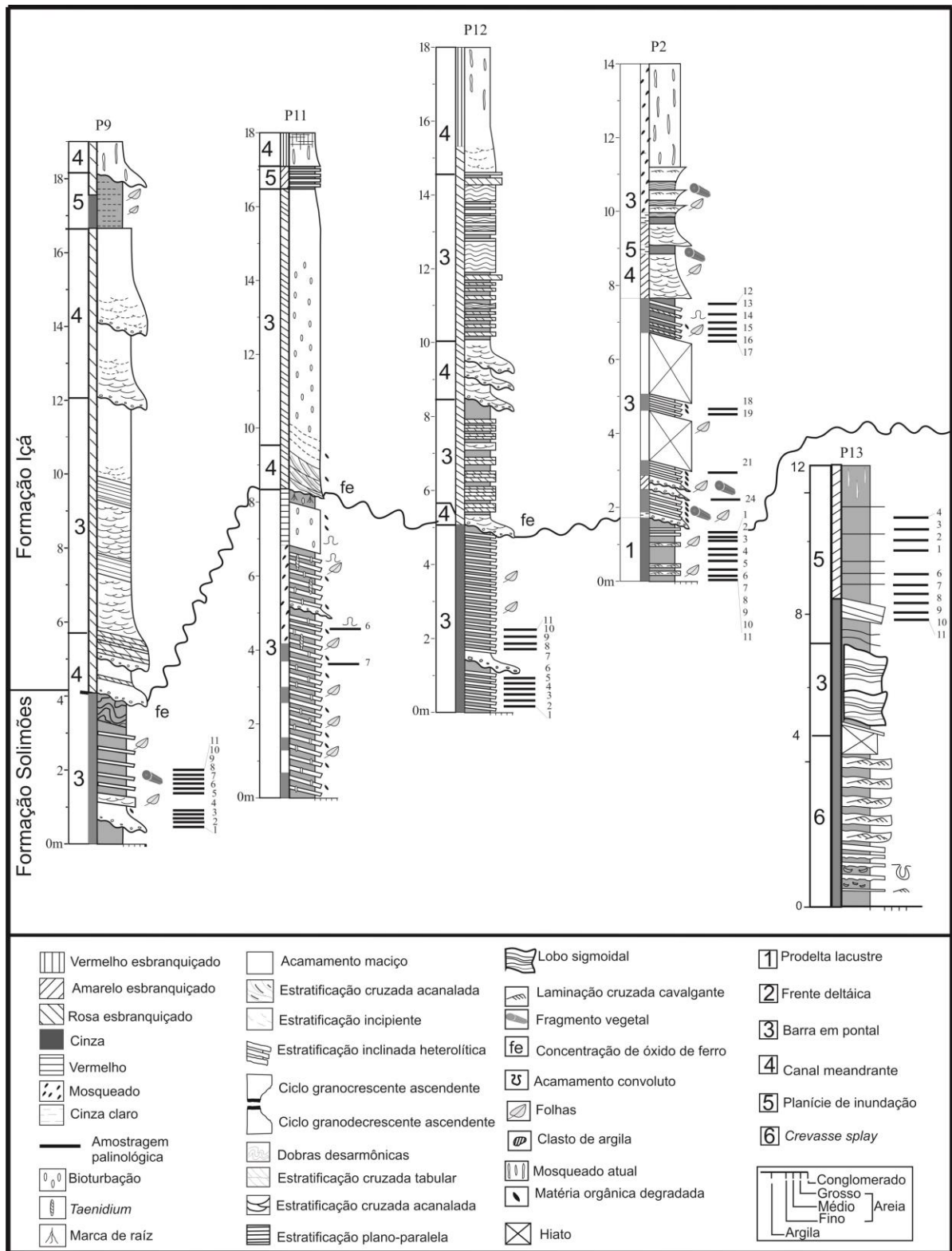


Figura 4.12 Perfis estratigráficos adquiridos para a região de Coari, Sub-bacia do Juruá, Bacia do Solimões (modificado de Nogueira *et al.*, 2013).

4.2.2 Características Palinológicas

Para os depósitos da região de Coari foram adquiridos cinco diagramas de porcentagem palinológica (Figuras 4.14 a 4.18), nos quais se encontram registrados esporomorfos de idade neógena e pleistocena. A interpretação dos diagramas permitiu a individualização de duas associações ecológicas, nomeadas de associação ecológica A e B. Todos os diagramas representam a associação ecológica A, enquanto a associação ecológica B é representada apenas no ponto P2 (Figura 4.14).

As associações palinológicas apresentam constituições muito similares, todavia individualizadas pelas proporções de alguns elementos, bem como pela presença de um representante de idade distinta. Esses contrastes são reconhecidos também do ponto de vista faciológico. Ambas as associações são relacionadas a um contexto efetivamente continental, apresentando as seguintes características.

A assembleia ecológica A é principalmente caracterizada pela larga porcentagem de pteridófitas (40-70%), particularmente com *Verrucotriletes bullatus* mais representada nessa associação, chegando a atingir até 20% de representatividade no espectro polínico (Figura 5). Ocorre uma boa preservação de pteridófitas em tétrades e seguida documentação de palmeiras, como *Mauritiidites franciscoi* (*Mauritia*).

Elementos de planície de inundação, como *Retitricolporites irregularis* e *Bombacacidites ciriloensis*, têm baixa representação, e apresentam-se registrados em ambas as associações. Nesse espectro polínico foi constatada a presença de *Fenestrites spinosus*, *Fenestrites longispinosus*, *Psilamonocolpites nanus*, *Psilamonocolpites* sp. 1, *Crototricolpites annemarie*, *Retitricolporites guianensis*; *Retitricolpites simplex*, *Pachydermites diderixi*, *Retitriporites dubiosus*, *Persiacariapollis* sp., *Paleosantalaceaepites* cf. *cingulatus*, *Couperipollis* sp. 1, *Echitricolporites* sp. e *Retistephanocolpites* sp. 1. São registrados *Magnastriatites grandiosus* associados a outros elementos aquáticos, como as algas de água doce *Ovoidites* e *Pediastrum*. A essa associação é atribuída, por sua associação palinológica, uma idade Neomiocena-Pliocena.

Para essa associação ecológica, ocorre manutenção nas relações entre os elementos de floresta e pteridófitas, com oscilação apenas nas proporções de ervas (Figuras 4.14 a 4.18). Localmente ocorrem formas retrabalhadas do Paleozoico (1-20%), representadas por *Maranhites insulatus*, *M. brasiliensis*, *Grandispora* sp., do Cretáceo (<1%), relacionados a *Subtilisphaera* ?, *Elateroplicites africaensis* e *Appendicisporites*, ocorrendo tanto nas fácies

finas quanto nas arenosas/pelíticas, da Formação Solimões. Há a presença de um único escolecodonte nessa assembleia, que pode também estar relacionado a retrabalhamento.

Na assembleia ecológica B, ocorre diminuição da representatividade de pteridófitas (10-39%), acompanhada de aumento direto dos elementos arbóreos (5-20%) e esporos de fungo (26-66%), que, nesse caso, aumentam também sua diversidade. Localmente, tal assembleia apresenta aumento na representação de elementos aquáticos, como *Magnastriatites grandiosus* (*Ceratopteris*) e *Cicatricosisporites* sp., o que torna essa assembleia ecológica similar à assembleia ecológica A, em pelo menos uma fase de seu decorrer. Diferenciam-se, entretanto, pelo aumento na representatividade de *Psilaperiporites* sp, *Echiperiporites akanthos* e *Perisyncolporites pokornyi*.

Ocorre registro de elementos de planície de inundação como *Retitricolporites irregularis* (*Amanoa* sp), *Bombacacidites ciriloensis* (*Pseudobombax munguba*), que ocorrem associados a *Striatricolpites catatumbus* (*Crudia* sp). Asteraceae ocorre representada por *Fenestrites spinosus* e *Echitricolporites spinosus*, com distribuição pontual nas assembleias ecológicas.

A presença de esporomorfos é pouco abundante (<1%), como *Fenestrites spinosus*, *Alnipollenites verus*, *Ladakhipollenites caribbiensis*, *Psilamonocolpites nanus*, *Psilamonocolpites* sp. 1, *Proxapertites tertiaria*, *Retitricolporites guianensis*, *Crototricolpites annemarie*, *Couperipollis* sp. 1, *Proteacidites triangulatus*, *Psilaperiporites minimus*, *Echitricolporites spinosus*, *Podocarpidites*, *Retistephanocolpites gracilis*, *Retistephanocolpites* sp. 1. Localmente, este último apresentou 3% de representatividade. Nos mesmos depósitos, ocorre redução no suprimento de sedimentos paleozoicos, não ultrapassando os esporomorfos retrabalhados em 1%.

Em todos os afloramentos investigados, há significativo registro de pteridófitas, representadas pelas formas *Laevigatosporites vulgaris*, *Laevigatosporites* sp. 1, *Laevigatosporites* sp. 2, *Laevigatosporites* sp. 3, *Laevigatosporites* sp. 4, *Polypodiisporites* sp. 1, *Polypodiisporites radiatus*, *Verrucastoporites* cf. *favus*, *Verrucatosporites alienus*, *Verrucatosporites* sp. 1, e, menos comumente, *Perinomonoletes*, todas relacionadas a Polypodiaceae. Estas são, em regra, menos abundantes que as formas afins com Cyatheaceae, como *Cyatheacidites* sp. 2, *Deltoidospora adriennis*, *Matonisporites mulleri*, *Cyatheacidites annulatus*, *Psilatriteles peruanus*, *Cyatheacidites* sp. 1 e *Polypodiaceoisporites* cf. *potonie*, respectivamente de maior para menor abundância. Os altos valores desses elementos indicam sua permanência na proximidade de área fonte, e que

os representantes de floresta seriam muito mais numerosos, uma vez que esses são em sua maioria de hábito epífita.

Algas de água doce acham-se preservadas em todos os afloramentos investigados, embora, na maioria das vezes, com baixa representação, constituindo menos de 1%, com exceção do caso de *Ovoidites*, que localmente atinge 2,7%. São registrados também *Pseudoschizaea circulus*, *Pseudoschizaea* sp. e *Pediastrum* sp.1, que oscilam em sua representação.

Palmeiras como *Mauritiidites franciscoi* chegam a atingir até 14,3% de representação nos níveis amostrados, particularmente relacionados à assembleia ecológica A. Na maioria dos níveis amostrados, *Mauritiidites franciscoi* varia de 1,2% a 5,2% e menor abundância de outras palmeiras como *Psilamonocolpites nanus*, *Psilamonocolpites* sp. 1 e *Psilamonocolpites* sp. 2, que não chegam a atingir 1%.

Os esporos de fungos são bem representados ocorrendo em número elevado em quase todos os afloramentos investigados, porém no ponto 2 (Figura 4.14) aumentam em proporção na assembleia ecológica B, o que coincide com aumento na diversidade de elementos de florestas.

Já as gramíneas representadas por *Monoporites annulatus* apresentam-se em todos os afloramentos, oscilando em representatividade (3-22%), apresentando localmente inversão com elementos arbóreos para os sedimentos mais antigos do Mioceno, como vislumbrado por Hoorn (1993).

4.2.3 Idade

Na assembleia palinológica analisada para a região de Coari foram encontrados marcadores bioestratigráficos, tais como *Psilaperiporites minimus*, *Fenestrites spinosus*, *Fenestrites longispinosus*, *Pachydermites dierexii*, *Echitricolporites spinosus*, *Paleosantalaceapidites cingulatus* e *Alnipollenites verus*.

Essas espécies encontradas na região apresentam distribuição estratigráfica oscilante dentro do intervalo Neomioceno ao Pleistoceno, nos levantamentos palinológicos do norte da América do Sul (Regali *et al.*, 1974a,b; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987; Hoorn, 1993; Leite, 2006; Silva-Caminha *et al.*, 2010; Jaramillo *et al.*, 2011).

Alguns esporomorfos identificados nessa região não ultrapassam o Mioceno, como *Paleosantalaceapidites cingulatus* (Jaramillo *et al.*, 2011) e *Psilatrilletes peruanus* (Hoorn,

1993), ambos relacionados à porção ocidental da Amazônia. Enquanto outras não ultrapassam o Plioceno, como *Psilaporites minimus* (Regali *et al.*, 1974ab).

Para Lorente (1986), o intervalo Neomioceno a Pleistoceno é distribuído em três zonas, tais como segue: 1) Zona de Intervalo de Asteraceae, do Neomioceno, com base definida pela primeira ocorrência de *Fenestrites spinosus*, *F. longispinosus*, *Cyatheacidites annulatus* e *Maravenites polyoratus*. Possui uma subzona de intervalo de *Fenestrites*, cuja base é definida pela primeira ocorrência regular de *Fenestrites spinosus*, e pela primeira ocorrência de *Packydermites diderixii*. O topo da zona é definido pela primeira ocorrência de *Stephanocolpites evansii*; 2) Zona de Intervalo de *Fenestrites longispinosus*, Neomioceno-Plioceno. A base da zona é definida pelo aparecimento de *Stephanocolpites evansii* e o topo marcado pela primeira documentação de *Alnipollenites verus*. 3) A zona *Alnipollenites*, Pleistoceno, é definida pela presença do marcador *Alnipollenites verus*.

Para Muller *et al.* (1987), o intervalo Neomioceno a Pleistoceno é distribuído em três zonas, são elas: 29 - *Echitricolporites spinosus*, 30 - *Echitricolporites mcneillyi* e 31 - *Alnipollenites verus*, tal como segue: 1) A zona 29, *Echitricolporites spinosus*, corresponde à concorrência entre as da base de *Echitricolporites spinosus* e Compositae e *Avicennia*. O topo é marcado pela ocorrência de *Grimsdalea magnaclavata* e base da ocorrência de *Echitricolporites mcneillyi*. Pode-se encontrar, nessa zona, as formas *Psilaperiporites minimus*, *Bombacacidites ciriloensis*, *Cyatheacidites annulatus* e *Grimsdalea magnaclavata*. Esse intervalo corresponde, aproximadamente, ao Neomioceno; 2) A zona 30, *Echitricolporites mcneillyi*, trata da zona de concorrência que tem base marcada pelo aparecimento da espécie e topo definido pelo desaparecimento de *Stephanocolpites evansii* e aparecimento de *Alnipollenites verus*. A concorrência de *Fenestrites* spp., *Psilatricolporites caribbiensis*, *Multiareolites formosus*, *Maravenites polyoratus* e *Striasyncolpites zwaardii* caracteriza essa zona, que corresponde ao Plioceno; 3) E, por fim, a zona 31, *Alnipollenites verus*, tem base marcada pelo aparecimento da forma, e vem até o recente.

Aos depósitos aflorantes na região de Coari são atribuídas idades Neomioceno/Plioceno e Pleistoceno (Lorente, 1986), relacionadas às formações Solimões e Içá, respectivamente. A idade Neomioceno/Plioceno é estabelecida por meio do registro da Subzona de Intervalo de *Fenestrites longispinus* (Lorente, 1986), ainda que na área este apresente baixa frequência. Associados a essas formas ocorrem formas como *Cyatheacidites annulatus* e *Packydermites diderixii* do Mioceno Superior a Plioceno, de acordo com Germeraad *et al.* (1968), e *Retistephanocolpites gracilis* ocorrente a partir do Plioceno

(Regali *et al.*, 1974ab). Presença rara de *Paleosantalaceae* *pites cingulatus*, que de acordo com Jaramillo *et al.* (2011) pertence ao Mioceno.

Ainda na região de Coari são identificados depósitos mais jovens, a partir da presença de *Alnipollenites verus*, que indica idade Pleistocena (Germeraad *et al.*, 1968; Lorente, 1986; Muller *et al.*, 1987), e ocorrem associados a *Monoporites annulatus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Laevigatosporites vulgaris*, *Mauritiidites franciscoi* e *Verrucatosporites* sp., ainda que com pouca abundância. Localmente ocorre grande abundância de *Magnastriatites grandiosus*.

4.2.4 Implicações Paleoecológicas

A microflore levantada para a região de Coari compreende miósporos, indicando fontes terrestres. A partir dos cinco diagramas palinológicos adquiridos para os afloramentos investigados, constata-se predomínio de pteridófitas (aquáticas e terrestres), representadas por Polypodiaceae (*Polypodium*), Cyatheaceae (*Cyathea horrida*, *Hemitelia*) e Pteridaceae (*Acrostichum aureum*), indicativas de condições de alta umidade, durante todo o intervalo de deposição. Todavia, a fase relacionada à assembleia ecológica A parece que foi a de maior umidade, quando comparada à assembleia ecológica B.

A diversificação desses elementos permite inferir uma proporcional diversidade nos elementos produtores, com variação de epífitas a samambaias arbóreas, em que a abundância destas estaria relacionada à proximidade da área fonte, com recorrente preservação de esporomorfos em tétrades. Em se tratando de pteridófitas, muito embora *Deltoidospora adriennis* (*Acrostichum aureum*) seja reportada em regiões costeiras, relacionadas a áreas de mangue, podem ser encontradas em distintos ambientes estagnados, como planícies aluviais, estuários ou restingas (Hoorn, 1993).

Em particular no afloramento P2 é verificada a consolidação da floresta, onde há aumento nas frequências dos táxons arbóreos, acompanhado de diversidade de pteridófitas, característicos de ambientes florestais, e, associado a este, abundantes e diversificados esporos de fungos de ambientes úmidos, relacionados ao processo de maturação do solo, com acúmulo de matéria orgânica.

A associação com algas de água doce sugere deposição em lagos, possivelmente em condições anóxicas. A presença de abundantes esporos de pteridófitas, aliada à presença de diversificados e abundantes esporos de fungo, indica condições de calor e umidade em grande parte do período de acumulação.

Dentre os elementos aquáticos, a samambaia representada por *Magnastriatites grandiosus* (*Ceratopteris*) ocorre localmente, quase sempre sem atingir 1% de representação. Todavia, localmente, nos depósitos atribuídos à assembleia ecológica B, a forma ultrapassa os 13%, sugerindo proximidades a águas rasas de lagos, rios de planície aluviais e pântanos costeiros. A sua coexistência com picos de *Monoporites annulatus*, mais de 17% de representação, evidencia períodos longos de acumulação, onde o espectro polínico é representado por oscilação entre fases mais secas e outras úmidas.

Mauritiidites franciscoi apresenta afinidade com *Mauritia*, palmeira comum em pântanos, restingas, planícies fluviais e solos pobremente drenados. Encontra-se associada a outras palmeiras e, apesar de baixa representatividade, segue documentada em todos os afloramentos investigados. *Pachydermites diderixi* (*Symphonia globulifera*), em ambas as associações paleoecológicas, indica presença de solos arenosos úmidos em áreas adjacentes à deposição.

Esporomorfos exóticos são preservados nas fácies finas dos depósitos estudados, relacionados às formações investigadas, e são representados por *Podocarpidites*, *Kuylisporites waterbolki* e *Alnipollenites verus*, que raramente atingem mais que 1% e que estariam relacionados a suprimento andino.

As associações ecológicas correspondem a distintos ambientes deposicionais, sendo os contrastes palinológicos coincidentes com as mudanças litofaciológicas. A associação ecológica A aqui apresentada corresponde a áreas estagnadas de prodelta lacustre, alternado à maior energia de frente deltaica, relacionado à Formação Solimões. Esses ambientes são sucedidos pela acumulação de depósitos de barra em pontal e planície de inundação de sistema fluvial meandrante, no qual ocorre preservação da associação ecológica B, vinculada à Formação Içá, compatível ao apresentado por Nogueira *et al.* (2013).

4.2.5 Paleoambiente e vegetação

A análise faciológica realizada na região de Coari apresenta relação com a microflora representada, onde as fácies pelíticas de prodelta lacustre e planície de inundação são mais favoráveis à preservação dos palinomorfos.

Para os depósitos da região de Coari, não foi encontrado qualquer indício de influência marinha para o Neomioceno-Plioceno e Pleistoceno, como também observado por Silva-Caminha *et al.* (2010), em depósitos neógenos. Entretanto, este trabalho não se opõe aos levantamentos realizados por Hoorn, (1993), Räsänen *et al.* (2005) e Hovikoski *et al.*

(2007, 2010), uma vez que difere de Silva-Caminha *et al.* (2010) na sua composição palinoflorística, e o mar pode não ter tido influência na região de Coari. A composição florística indica que os depósitos investigados na região de Coari são mais novos que os investigados por Hoorn (1993). Além disso, existe contraste no paleoambiente, sendo o intervalo Neomioceno-Plioceno da região de Coari correspondente a um sistema flúvio-deltaico, com sedimentos de grão fino de um prodelta lacustre fornecidos pelos sinuosos rios distributários, bem como frente deltaica (Figura 4.13). Os lagos e rios distributários eram circundados por extensa planície de inundação, colonizadas por árvores e arbustos de planície de inundação, e sobremaneira representados por *Polypodiaceae*, *Cyatheaceae* e *Pteridaceae*.

O início da passagem do sistema flúvio-deltaico para fluvial meandrante deve ter se dado no decorrer do Plioceno a início do Pleistoceno, quando a paleovegetação deve ter se adaptado gradualmente às mudanças ambientais em vigor, e a julgar pela palinoflora analisada, não deve ter variado muito na sua composição.

Durante o Pleistoceno, depósitos da Formação Içá começaram a se depositar em discordância sobre a Formação Solimões, resultante de expressivo sistema fluvial meandrante. Várzeas foram comuns às margens do canal, mas altas taxas de migração dos canais sinuosos continuamente erodiram a planície de inundação, que formou mais finos depósitos de lama. Essas planícies de inundação foram colonizadas por espécies de palmeiras, árvores e arbustos de planície de inundação, pteridófitas, algas de água-doce e uma profusão de esporos de fungo.

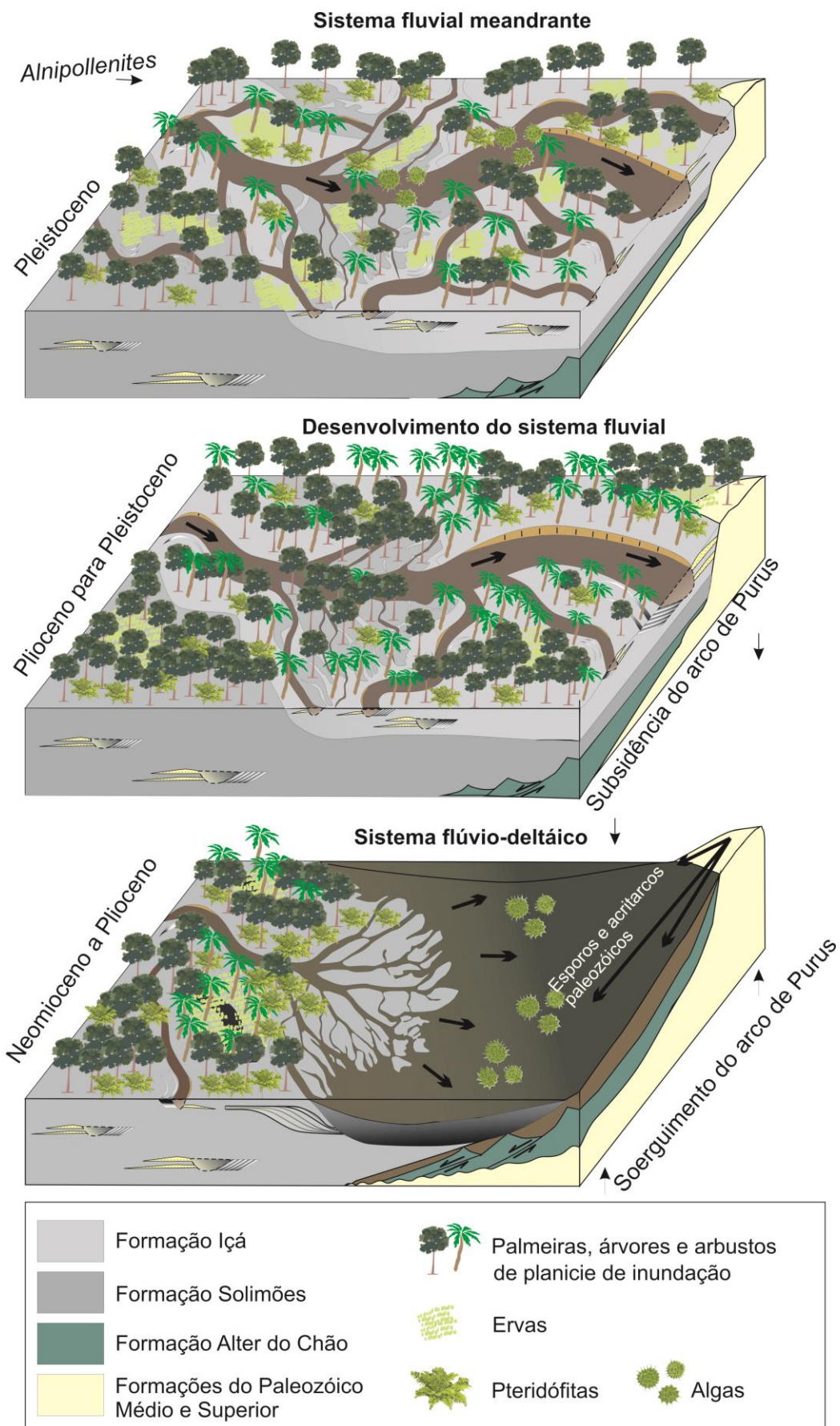


Figura 4.13. Blocos diagramas mostrando a evolução paleoambiental da região de Coari e a composição geral da paleoflora (modificado de Nogueira *et al.*, 2013).

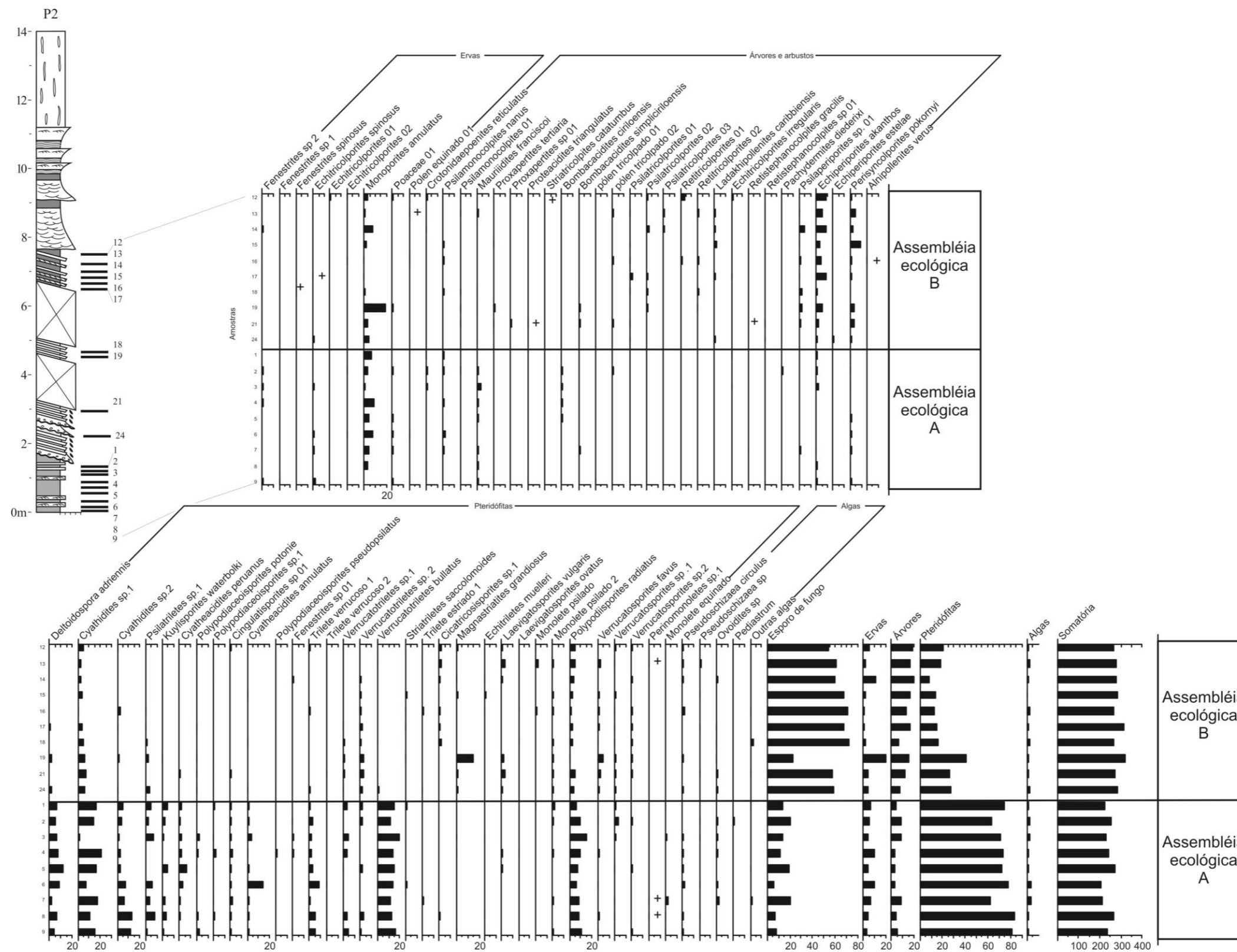


Figura 4.14. Diagrama polínico do afloramento P2, margem direita do rio Solimões, adjacência do Município de Coari, Amazonas.

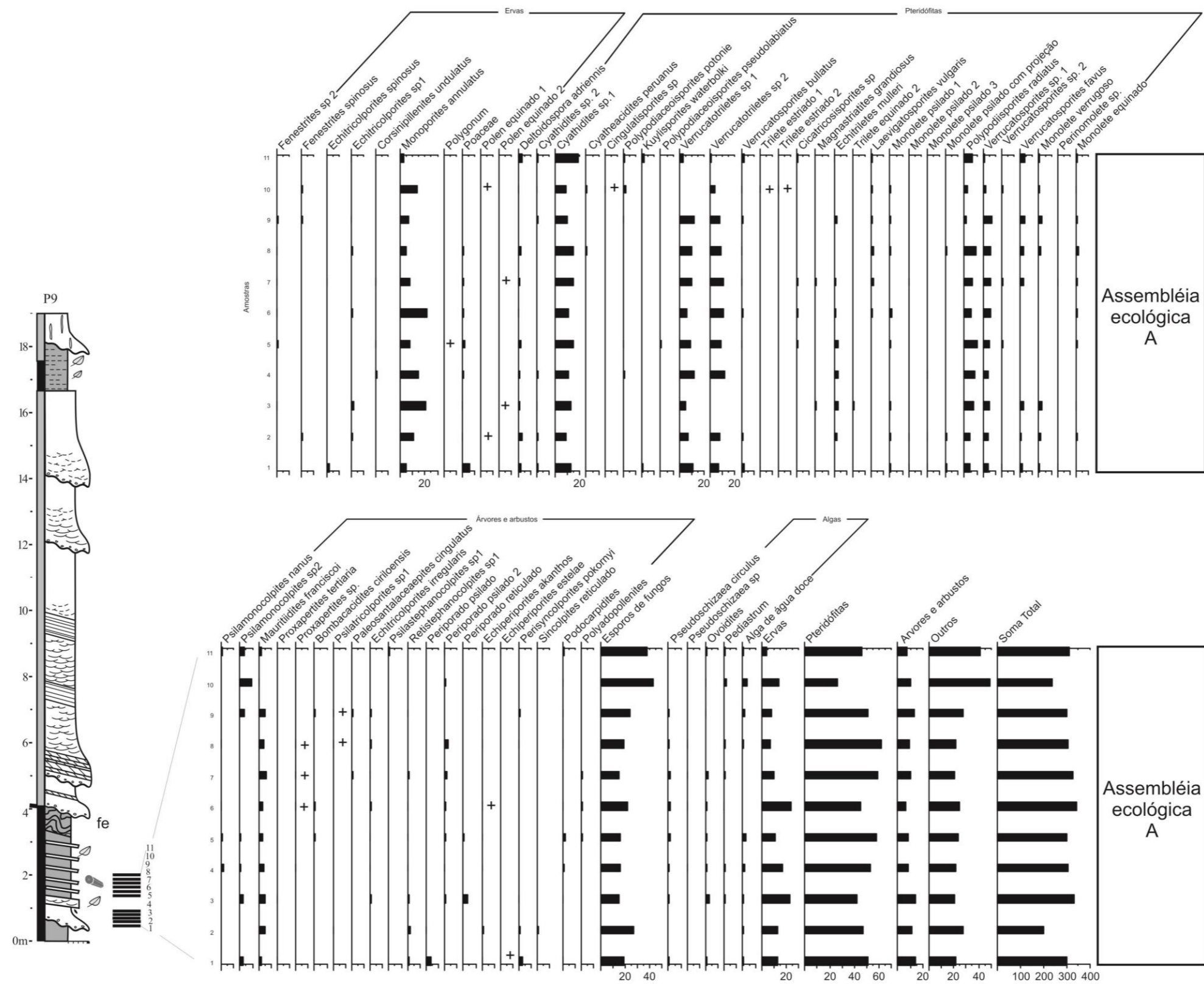


Figura 4.15. Diagrama polínico do afloramento P9, margem direita do rio Solimões, adjacência do município de Coari, Amazonas.

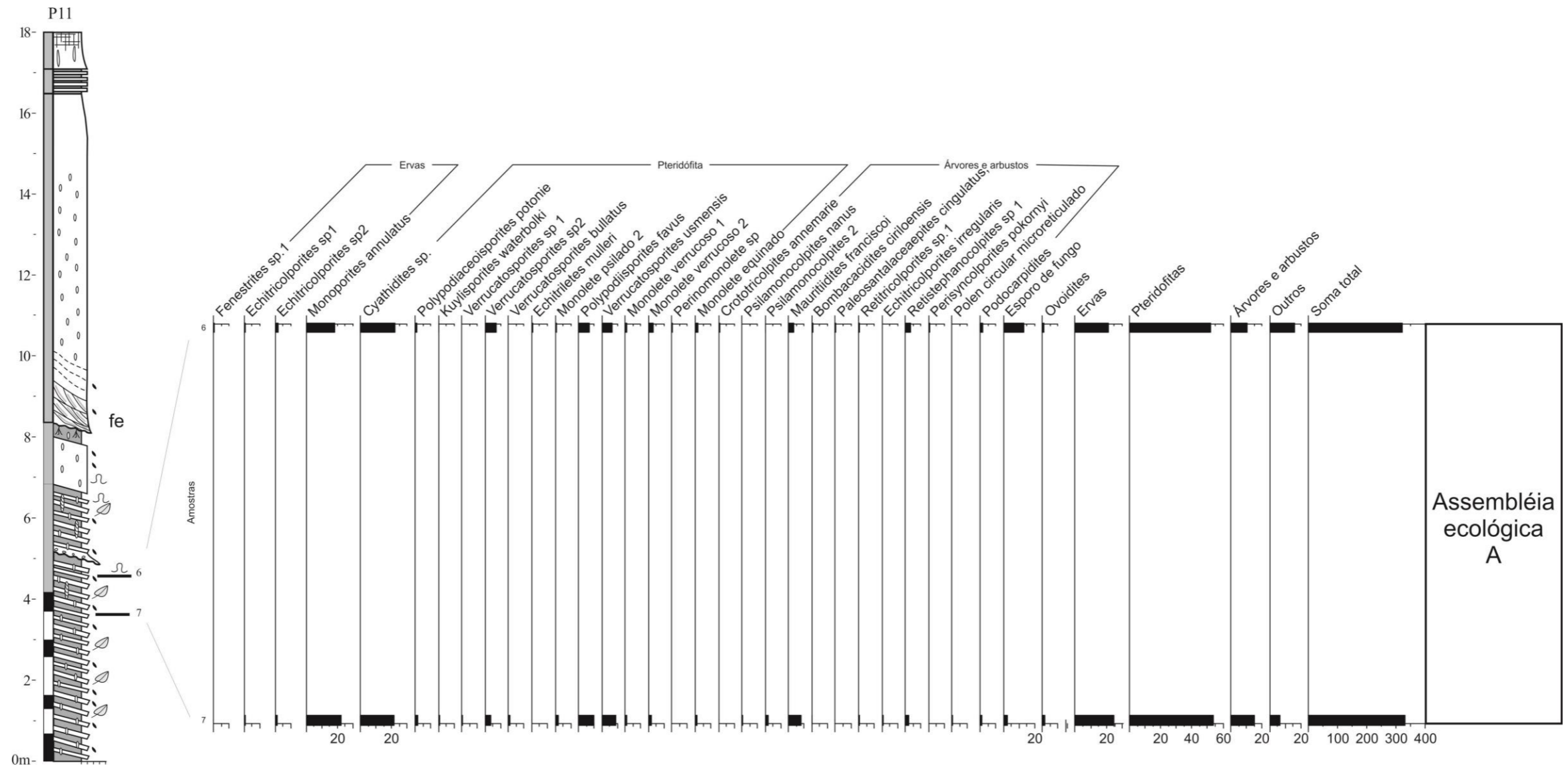


Figura 4.16. Diagrama polínico do afloramento P11, margem direita do rio Solimões, adjacência do município de Coari, Amazonas.

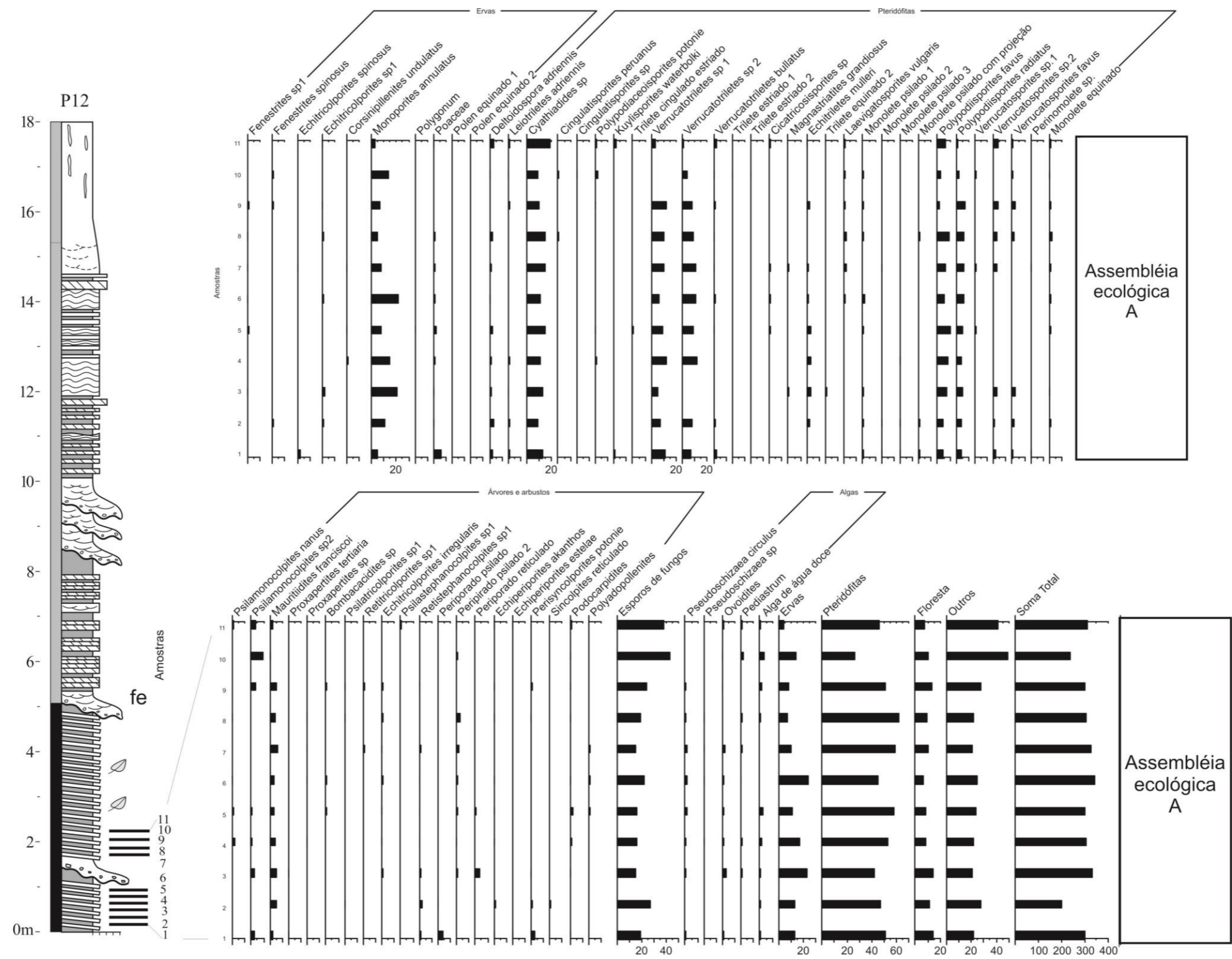


Figura 4.17. Diagrama polínico do afloramento P12, margem do rio Solimões, adjacência do município de Coari, Amazonas.

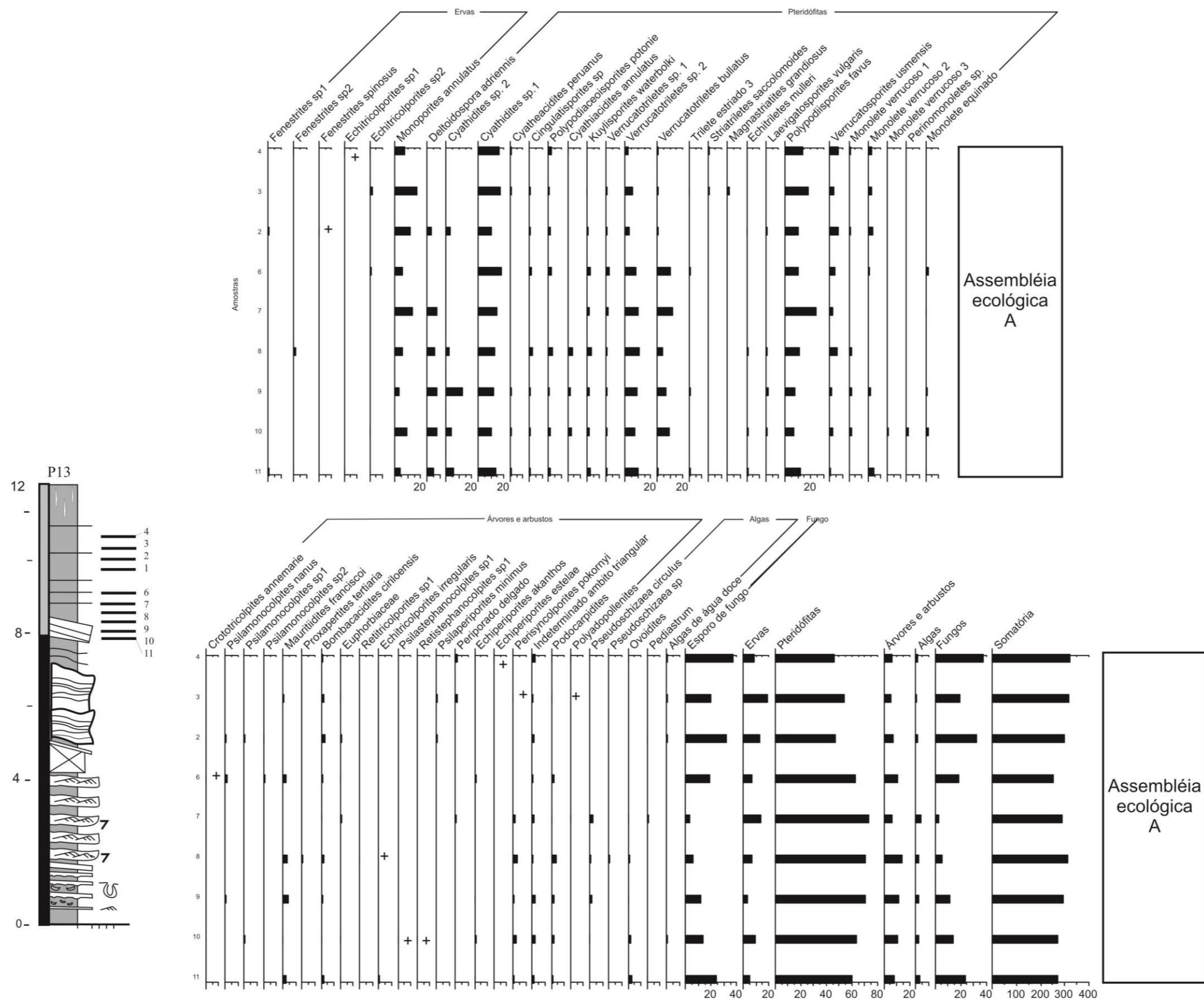


Figura 4.18. Diagrama polínico do afloramento P13, margem do rio Solimões, adjacência do município de Coari, Amazonas.

CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Correlações

Alguns táxons são comuns às duas áreas de estudo, Alto Solimões e Coari, e são correspondentes a elementos de planície de inundação ou corpos de água rasa de lagos, como as ervas *Monoporites annulatus* e *Corsinipollenites undulatus*, pteridófitas *Deltoidospora adriennis*, *Cyatheacidites peruanus*, *Polypodiaceoisporites potonie*, *Polypodiaceoisporites pseudolabiatus*, *Cingulatisporites*, *Kuylisporites waterbolki*, *Magnastriatites grandiosus*, *Striatriletes saccolomoides*, *Echitriletes mulleri*, árvores e arbustos como *Proxapertites tertiaria*, *Mauritidiites franciscoi*, *Bombacacidites ciriloensis*, *Echitricolporites irregulares*, *Echiperiporites estelae*, *Perisyncolporites pokorny*, e algas como *Pediastrum*.

Ainda que haja táxons comuns às áreas estudadas, ocorre distribuição diferente entre seus elementos. Por exemplo, *Corsinipollenites undulatus* ocorre com maior porcentagem, 18%, na região do Alto Solimões. Da mesma maneira, *Bombacacidites ciriloensis* e *Magnastriatites grandiosus* atingem picos de 50% e 40%, respectivamente. *Deltoidospora adriennis* é um elemento que ocorre em todos os níveis dos afloramentos analisados e sua representação chega a ultrapassar os 80% localmente, mas comumente documentado um valor em torno de 20%.

A documentação palinológica de Alto Solimões é menos diversa que a registrada para a região de Coari, o que pode ser explicado pela baixa mobilidade dos esporomorfos, em águas estagnadas dessa região, onde os palinomorfos são muito mais numerosos.

Os distintos depósitos investigados para a região do Alto Solimões e Coari são caracterizados pela presença de diferentes marcadores bioestratigráficos, que apresentam correspondência com parte do zoneamento de Hoorn (1993), e com partes dos zoneamentos propostos por Lorente (1986), sendo também reconhecidos por Leite (2006) e Silva-Caminha *et al.* (2010).

Alguns dos táxons identificados neste trabalho apresentam distribuição estratigráfica ampla, não sendo empregados na determinação de idade, tais como *Cyathidites* sp.,

Deltoidospora adriennis, *Kuylisporites waterbolki*, *Polypodiaceosporites potonie*, *Monoporites annulatus*, *Mauritiidites franciscoi*, *Magnastriatites grandiosus*, *Echiperiporites estelae*, *Retitricolporites irregulares* e *Verrucatosporites usmensis*.

Os depósitos da Formação Solimões, na bacia homônima, foram submetidos a uma tentativa de correlação apoiada no estudo palinológico realizado na região de Coari e região do Alto Solimões, comparado a levantamentos palinológicos realizados no norte da América do Sul.

A porção do Alto Solimões foi relacionada à zona *Grimsdalea* do zoneamento de Hoorn (1993), usando como referência o poço 1AS-51-AM. Este se correlaciona aos afloramentos de parte da Colômbia, nas localidades de Puerto Caimán e Buenos Aires, ao longo dos rios Caquetá e Cotuhé, bem como afloramento de Bocanas, à margem do rio Apaporis. A autora relata a existência de uma grande quantidade de palinomorfos marinhos observados, o que evidencia condições marinhas marginais, em partes dos depósitos. Esses correspondem também aos depósitos investigados por Hoorn (1994b), nas localidades de Los Chorros, Mocagua, Santa Sofía, às margens do rio Amazonas, também na Colômbia. A autora faz correlação aos depósitos investigados nas localidades de Benjamin Constant e Atalaia do Norte, no Estado do Amazonas, todavia não apresenta nesse trabalho os resultados de análise palinológica.

Em relação aos depósitos de subsuperfície, encontra-se relacionada à parte do poço 1AS-4-AM, entre os níveis de 23,5m a 89m, investigados por Leite (2006), também relacionada à passagem Meso-Neomioceno. Já Silva (2008), em análise do poço 1AS-27-AM, acima de 400m, relatou em todo o intervalo estudado a presença de *Grimsdalea magnaclavata* e *Crassoretitriletes vanraadshoovenii*, mas a autora considera o mesmo correspondente à zona Asteraceae, mesmo não constatando a presença de Asteraceas.

Nos depósitos estudados por Dino *et al.* (2012) foi inferida idade mais jovem que nos investigados na porção ocidental da Amazônia, porém mais antiga que as estudadas na região de Coari. Na região de Coari, apresentam composição correspondente à zona Asteracea (Lorente, 1986). Não há correspondentes em superfície a esses depósitos na literatura, porém na região ocidental da Amazônia ocorrem em subsuperfície, e têm relação com o poço 1AS-3-AM, entre os níveis 238 m a 299 m, estudados por Leite (2006), onde a autora o posiciona no decorrer do Tortoniano.

5.2 Principais Conclusões

Este trabalho permitiu a identificação de 112 palinomorfos relacionados a grupos de fungos, algas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas, escolecondonte e dinoflagelado, para amostras Neógenas da Amazônia, nas regiões adjacentes às cidades de Coari, Atalaia do Norte e Tabatinga.

A paleoflora registrada na região do Alto Solimões acha-se representada por um sistema fluvial anastomosado, pelo predomínio de fácies finas e pantanosas, onde se preservaram palinomorfos de várzea, pântano, lagos e rios rasos. Importantes marcadores bioestratigráficos posicionam esses depósitos na passagem do Serravaliano-Tortoniano. Os depósitos dessa idade apresentam influência marinha na região ocidental da Amazônia, ainda que seja menos marcante que os registros verificados por Hoorn (1993).

A paleoflora representada na região de Coari foi individualizada em duas associações ecológicas, nomeadas A e B, que coincidem com mudanças na sedimentação, ao longo do Neomioceno a Pleistoceno. Durante todo o intervalo de deposição houve manutenção de condições de umidade, evidenciada pela grande diversidade e abundância de pteridófitas. A abundância de esporos sugere a presença de áreas pantanosas e aquáticas. A presença de muitas famílias de angiospermas indica áreas de florestas de terra firme nas proximidades do sistema deposicional.

A fase de maior umidade é correlacionada a fácies prodelta de um sistema flúvio-deltaico proposto por Nogueira *et al.* (2013), e é correspondente à associação ecológica A, enquanto a associação ecológica B é relacionada à fase de avanço da floresta, implantada sobre depósitos de planície de inundação de um sistema fluvial meandrante.

Para o Neomioceno-Pleistoceno da porção central da Amazônia, o contexto continental é marcado pela exclusiva documentação de esporomorfos. O suprimento de rochas Paleozoicas e Cretáceas indica exposição de rochas dessas idades no intervalo de subsidência da unidade, na sub-bacia do Juruá.

5.3 Recomendações

Dada às dimensões da Amazônia e considerando as distinções entre as áreas estudadas, recomenda-se que sejam realizados novos trabalhos de natureza estratigráfica, estendendo as áreas de investigação, para melhor compreender os limites entre os paleoambientes envolvidos. Novos levantamentos palinológicos (em superfície e sub-

superfície) devem ser realizados, visando entender a distribuição da flora, assim como o emprego de estudos de isótopos de oxigênio, para verificar mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abnader, H.D. 2008. *Depósitos cenozóicos da porção oeste da Bacia do Amazonas*. Manaus, 83p. *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- Ackermann, F.L. 1964. Geologia e fisiografia da região Bragantina (Estado do Pará). *Cadernos da Amazônia*, 2:1-90.
- Agassiz, L. 1835. Reserarch sur les poisons fossils. *In: Atlas. Neuchatel: Petitpierre*, 3: 1-24.
- Almeida, F.F.M. 1976. The System of Continental Rift Bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48 (suplemento): 15-26.
- Amador, E.S. 1982. Depósitos relacionados à unidade inferior do Grupo Barreiras no Estado do Espírito Santo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 32., 1982, Salvador. *Anais...Salvador, SBG*, 4: 1451-1461.
- Andrade, L.S. & Soares, E.A.A. 2009. Estratigrafia de subsuperfície da sequência sedimentar cretácea e neógena na cidade de Manaus. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 11, 2009, Manaus. Boletim de Resumos Expandidos.
- Arai, M. 1997. Dinoflagelados (Dinophyceae) miocênicos do Grupo Barreiras do nordeste do Pará (Brasil). *Revista Universidade de Guarulhos*, 2: 98-106.
- Arai, M.; Nogueira, A.C.R.; Silveira, R.R.; Horbe, A.M.C. 2003. Considerações Cronoestratigráficas e Paleoambientais da Formação Solimões com base em palinomorfos, região de Coari, Estado do Amazonas. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 8, Manaus. Resumos expandidos...SGA, 2003, CD Rom.
- Arai, M.; Truckenbrodt, W.; Nogueira, A.C.R.; Góes, A.M.; & Rossetti, D.F. 1994. Novos dados sobre a estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos Barreiras, NE do Pará. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 4, 1994, Belém. Boletim de Resumos Expandidos, 1: 185-187.
- Arai, M.; Uesugui, N.; Rossetti, D.F. & Goés, A.M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará (Brasil). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 35, 1988, Belém. *Anais...Belém, SBG*, 2: 738-752.
- Armstrong, H.A. & Brasier, M.D. 2005. Scolecodonts. *In: Armstrong, H.A. & Brasier, M.D. (Eds) Microfossils*. 2a. edição, p.101-103.
- Banerjee, D. 1966. A Note on Tertiary Microflora from Andaman Islands, India. *Polen et Spores*, 61:205-212.
- Barros, E.H.M.S. & Assis, J.F.P. 2001. Os gastrópodes da Formação Pirabas no acervo do Museu de Geociências da Universidade Federal do Pará. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 2:117.
- Barroso, M. S. 2002. *Sistemática, Paleoecologia e Bioestratigrafia dos Macrofósseis (Invertebrados) do Siluriano Sup.- Devoniano Inf. da Formação Manacapuru, Bacia do Amazonas, Brasil*. Manaus, 107p. Trabalho Final de Graduação, Curso de Geologia, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- Berggen, W.A. & Van Couvering, J.A. 1974. The late Neogene biostratigraphy, geochronology and paleoclimatology of the last 15 million years in marine and continental sequences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 16 (1-2): 1-216.
- Berry, E.W. 1922. Late tertiary plants from the Jancocata, Bolívia. *The John Hopkins University Studies in Geology*, 4:205-221.
- Berry, E.W. 1935 Tertiary plants from Brazil *Proceedings of the American Philosophical Society*, 75:565-590.

- Berry, E.W. 1936 Tertiary fossil plants from Venezuela II. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 83:335-360
- Berry, E.W. 1937 Late tertiary flora from the Territory Acre, Brazil. *The John Hopkins University Studies in Geology*, 12:81-90.
- Bigarella, J.J. 1975. The Barreira Group in Northeastern Brazil. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 47:365-393.
- Bolkhovitina, N.A. 1953. Spore-pollen characteristic of Cretaceous deposits of central regions of the USSR. *Trudy Akademiyi Nauk SSSR Geologicheskogo Instituta*, 145:1-184.
- Bolli, H.M. & Bermudez, P.J. 1965. Zonation based on planktonic foraminifera of the Middle Miocene to Pliocene warm-water sediments. *Bolletín Informativo, Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo*, 8(5): 119-149.
- Bolli, H.M. & Premoli Silva, I. 1973. Oligocene to Recent planktonic foraminifera and stratigraphy of the Leg 15 Sites in the Caribbean Sea. *Initial Report Deep Sea Drilling Project*, 15: 475-495.
- Brasil. 1978. Folha SB. 19 Juruá - Levantamento de Recursos Naturais: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. 430p.
- Brito, I.M. 1981. Os Euforbióides Fósseis do Brasil. III - Euphorbióides, exceto Hemiastereridae. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 53(3): 569-578.
- Brito, I.M. 1993. O aspecto moderno da carcinofauna da Formação Pirabas, Oligo-Mioceno do Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65: 57-61.
- Buerlen, K. 1958. Contribuição a Paleontologia do estado do Pará. Um balonômorfo da Formação Pirabas. II - (Artropoda - Crustácea). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 6:1-6.
- Burnham, R.J.; Wing, S.L. & Parker, G.G. 1992. The reflection of deciduous forest communities in leaf litter: implications for autochthonous litter assemblages from the fossil record. *Paleobiology*, 18:30-49.
- Calvo, I.S. 1987. *Rádulas de gastrópodes marinhos brasileiros*. Rio Grande, Editora da Fundação Universidade do Rio Grande, 201p.
- Campbell, K.E.; Frailey, C.D. & Pittman, L.R. 2000. The Late Miocene Gomphothere *Amahuacatherium peruvium* (Prosbocidea: Gomphotheriidae) from the Amazonian Peru: implications for the great American faunal interchange. *Instituto Geológico Minero y Metalúrgico Boletín*, 23, série D, p.152.
- Campbell, K.E.; Heizler, M.; Frailey, C.D.; Romero-Pittman, L. & Protero, D.R. 2001. Upper Cenozoic chronostratigraphy of the southwestern Amazon Basin. *Geology*, 29(7):595-598.
- Campbell, K.E.J.; Frailey, C.D. & Romero Pittman, L. 2006. The Pan-Amazonian Ucayali peneplain, Late Neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon River system. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239:166-219.
- Caputo, M.V. 1973. Relatório Preliminar de Exploração da Bacia do Acre. *Relatório Técnico Interno da Petrobrás*, 24p.
- Caputo, M.V., Rodrigues, R. & Vasconcelos, D. N. 1971: Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. *Relatório Técnico Interno da Petrobrás*, p.35-46.
- Caputo, M.V. & Silva, O.B.; 1991. Sedimentação e tectônica da Bacia do Solimões. In: G.P. Raja Gabaglia, E.J. Milani, (Eds). *Origem e Evolução das Bacias Sedimentares*. p.169-193.
- Caputo, M.V. 1984. *Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basin of Brazil*. Santa Barbara, 583p. Tese de Doutorado. University of California.

- Caratini, C.; Blasco, F. & Thainilainomi, G. 1973. Relation Between the Pollen Spectra and the Vegetation of a South Indian Mangrove. *Pollen et Spores*, 15:281-292.
- Carrión, J.S. & Navarro, C. 2002. Cryptogam spores and other non-pollen microfossils as sources of palaeoecological information: case-studies from Spain. *Annals Botanical Fennici*, 39:1-14.
- Carvalho, M.A. 1996. *Estudo Paleoecológico e Paleoclimático, com base em Palinologia, aplicado em sedimentos Pleistocênicos e Pliocênicos da Bacia da Foz do Amazonas*. Rio de Janeiro, 146p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Christopher, R.A. 1976. Morphology and taxonomic status of *Pseudoschizaeae* Thiergart and Frantz ex R. Potonié emend. *Micropaleontology*, 22(2):143-150.
- Concheyro, G.A. & Távora, V.A. 1992. Ocorrência de nanofósseis calcários na Formação Pirabas (Mioceno Inferior) no furo Cb-UFFPa-P1 (85), município de Capanema, Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 64: 421.
- Cookson, I.C. 1947. Plant microfossils from the lignites of the Kerguelen Archipelago British and New Zealand Antarctic Research Expedition, 1929-1931, series A, 2(8):129-142.
- Cookson, I.C. 1965. Cretaceous and Tertiary microplankton from south-eastern Australia. *Proceedings of the Royal Society of Victoria*, 78(1):85-93.
- Costa, J.B.S.; Hasui, Y.; Bemerguy, R.L. & Villegas, J.M.C. 2002. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 74: 519-531.
- Costa, J.B.S.; Borges, M.S.; Bemerguy, R.L.; J.M.G.; Fernandes, J.M.S. & Costa Jr. P.S., 1993. A evolução cenozóica da região de Salinópolis, nordeste do estado do Pará. *Geociências*, 12(2):373-396.
- Costa, S.A.F.; Toledo, P.M. & Moraes-Santos, H.M. 2004. Paleovertebrados. In: Rossetti & Góes (Eds.). *O Neógeno da Amazônia Oriental*. Museu Paraense Emilio Goeldi. p. 135-166.
- Couto, C.P. & Mezzalana, S. 1971. Nova Conceituação Geocronológica de Tremembé, Estado de São Paulo, Brasil. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 43 (suplemento): 473-488.
- Cozzuol, M. A. 2006. The Acre vertebrate fauna: age, diversity, and geography. *Journal of South American Earth Sciences*, 21:185-203.
- Cruz, N.M.C. 1984. Palinologia do Linhito do Solimões no Estado do Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, 1984, Manaus. *Anais...Manaus, SGA*, 2: 473-480.
- Cunha, P.R.C.; Melo, J.H.G. & Silva, O.B. 2007. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(2): 227-251.
- Cushman, J.A. & Stainforth, R.M. 1945. The foraminifera of the Cipero Marl Formation of Trinidad, British West Indies. *Journal of Foraminiferal Research*, 14:1-75.
- Daemon, R.F. & Contreiras, C.J.A. 1971. Zoneamento palinológico da bacia do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971, São Paulo. *Anais...São Paulo, SBG*, 3:79-91.
- Daemon, R.F. 1975. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(2): 58-84.
- Davis, O.K. 1992. Rapid climatic change in coastal southern California inferred from Pollen Analysis of San Joaquin Marsh. *Quaternary Research*, 37:89-100.
- Dino, R.; Silva, O.B. & Arahão, D. 1999. Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, 1999, Rio Claro. *Anais...Rio Claro, SBG*, 5:557-565.

- Dino, R.; Soares, E.A.A.; Antonioli, L.; Riccomini, C. & Nogueira, A.C.R. 2012. Palynostratigraphy and sedimentar facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciencies*, 34:61-80.
- Dino, R.; Soares, E.A.A.; Riccomini, C.; Antonioli, L. & Nogueira, A.C.R. 2006. Caracterização palinológica de depósitos miocênicos na Bacia do Amazonas, região de Manacapuru, AM. In: SIMPÓSIO DO TERCIÁRIO DO BRASIL, 1, 2006, Serra Negra. *Boletim de Resumos...*Serra Negra, SBG, p.43.
- Duarte, L. & Japiassú, A.M.S. 1971. Vegetais meso e cenozóicos do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*,43(suplemento): 433-443.
- Duarte, L. 1970. Comentários sobre o "Status" taxinômico de uma coleção de vegetais fósseis do Acre. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 42(3):471-476.
- Duarte, L. 2004. Paleoflórula. In: *O Neógeno da Amazônia Oriental*. Rossetti, D. & Góes, A.M. (Eds). Museu Paraense Emilio Goeldi, 169-196.
- Dutra, T.L.; Rossetti, D.F. & Stranz, A. 2001. Bombacaceae Kuhnt., 1821 from the Middle Miocene Barreiras Formation (Depositional Sequence B), in Para State, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 17, 2001, Rio Branco. *Anais...*Rio Branco, SBP, 77.
- Eiras, J.F.; Becker, C.R.; Souza, E.M.; Gonzaga, F.G.; da Silva, J.G.F.; Daniel, L.M.F.; Matsuda, N.S. & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(1):17-45.
- Fægri, K. & Iversen, L. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*. 4a. ed. New York, Hafner Pub, 486p.
- Ferreira, C.S. & Fernandes, J.M.G. 1997. Espongiários silicosos (Hexactinellida) da Formação Pirabas, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi*, 9:21-27.
- Ferreira, C.S. 1960. Contribuição a paleontologia do Estado do Pará. Revisão da Família Pectidae da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), com a descrição de novas espécies. VII- (Mollusca-Pelecypoda). *Arquivos do Museu Nacional*, 50:135-165.
- Ferreira, C.S. 1966. Características Lito-paleontológicas na Formação Pirabas, Estado do Pará. *Conferência Geológica das Guianas*, CNPq, 6:101-111.
- Ferreira, C.S. 1982. *Notas estratigráficas sobre o Cenozóico marinho do Estado do Pará*. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, 1982, Belém. *Anais...*Belém, SBG, 1: 84-88.
- Fischer. T.V., Souza, P.A., Escamilla, J.H. & Arai, M. 2013. Associações Palinológicas do Paleógeno da Bacia de Pelotas (Poço BP-1, Brasil) e Seu Significado Estratigráfico. *Geociências*, 32(4):677-695.
- Folk, R.L. 1974. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Texas, Hempill Publishing Co, 182p.
- Garcia, M.J.; Bistrichi, C.A., Saad, A.R.; Campanha, V.A. & Oliveira, P.E. 2008. Stratigraphy and Paleoenvironments of the Tanque Basin, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11(3):147-168.
- Garcia, M.J.; Bernardes-de-Oliveira, M.E.; Santos, M.A.; Dino, R.; Antonioli, L.; Bistrichi, C.A. & Casado, F.C. 2007. Floras Neógenas Sul-Americanas no Contexto Mundial. In: *Paleontologia: Cenários de Vida*. p. 657-687.
- Germeraad, J.H.; Hopping, C.A. & Muller, J. 1968. Palynology of tertiary sediments from the tropical areas. *Review Paleobotany and Palynology*, 6:189-348.
- Gingras, M.S.; Räsänen, M.E. & Ranzi, A. 2002. The significance of Bioturbated Inclined Heterolithic Stratification in the Southern Part of the Miocen Solimoes Formation, Rio Acre, Amazonia Brazil. *Palaios*, 17: 591-601.

- Grimm, E.C. 1987. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by method of the incremental sum of squares. *Computers Geosciences*, 13:13-35.
- Grimsdale, T.F. 1951. Correlation, age determination and the Tertiary pelagic foraminifera. *Proced Third World Petroleum Congress*, 1: 463-475.
- Guimarães, J.T.F.; Nogueira, A.C.R.; Silva Jr; J.B.C., Soares, J.L. & Silveira, R.R. 2013. Fossil Fungi from Miocene Sedimentary of the Central and Coastal Amazon Region, North Brazil. *Journal of Paleontology*, 87(3):484-492.
- Guppy, R.J.L. 1866. On the Tertiary Mollusca of Jamaica. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 22: 281-295.
- Hasui, Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1, 1990, Belo Horizonte. *Anais...Belo Horizonte*, SBG, 11:1-31.
- Hasui, Y. 1998. Evolução Morfotectônica do Sudeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1998, Belo Horizonte. *Anais...Belo Horizonte*, SBG, 78.
- Head, M.J.; Gibbard, P.L. & Salvador, A. 2008. The Quaternary: its character and definition. *Episodes*, 31: 234-238.
- Hill, R.S.; Macphail, M.K. & Jordan, G.J. 2001. Macrofossils associated with the fossil fern spore *Cyatheacidites annulatus* and their significance for Southern hemisphere biogeography. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 116:195-202.
- Höernes, M. 1853. Mitteilung an Prof. Bronn gerichtet: Wien, 3. Okt., 1853. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie and Petrefaktenkunde*, p.806-810.
- Hoorn, C. 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 105:277-309.
- Hoorn, C. 1994a. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonas Basin (Early Miocene - early Middle Miocene, Colombia). *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 109: 1-54.
- Hoorn, C. 1994b. An environmental reconstruction of the palaeo-Amazon River system (Middle-Late Miocene, NW Amazonia). *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 112:187-238.
- Hoorn, C. 2006. Mangrove forests and marine incursions in Neogene Amazonia (Lower Apaporis River, Colombia). *Palaios*, 21:197-209.
- Hoorn, C.; Bernardes-de-Oliveira, M.E.C.; Dino, R.; Garcia, M.J.; Antonioli, L.; Casado, F. da C. & Hooghiemstra, H. 2014. Neogene Climate Evolution in Amazonia and the Brazilian Northeast. In: I. S. Carvalho; Garcia, M.J.; Lana, C.C. & Strohschoen Jr., O. (Eds.). *Paleontologia: Cenários de Vida – Paleoclimas*, v. 5. Rio de Janeiro, Interciência, p. 277-310.
- Hoorn, C.; Guerrero, J. & Sarmiento, G. 1995. Andean Tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene Northern South America. *Geology*, 23: 237-240.
- Hoorn, C.; Roddaz, M.; Dino, R.; Soare, E.; Uba, C.; Ochoa-Lozano, D. & Mapes, R. 2010b. The Amazonian Craton and its influence on past fluvial systems (Mesozoic-Cenozoic, Amazonia). In: C. Hoorn & F.P. Wesselingh. (Eds.) *Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past*. 1st edition. p. 103-122.
- Hoorn, C.; Wesselingh, F.P.; Steage, H.; Bermudez, M.A.; Mora, A.; Sevink, J.; Na Martín, I.; Sanchez-Meseguer, A.; Anderson, C.L.; Figueiredo, J.P.; Jaramillo, C.; Riff, D.; Negri, F.R.; Hooghiemstra, H.; Lundberg, J. Stadler, T.; Särkinen, T. & Antonelli, A. 2010a.

- Amazon Trough Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity. *Science*, 330: 927-931.
- Hovikoski, J.; Räsänen, M.E.; Gingras, M.; Ranzy, A. & Melo, J. 2008. Tidal and seasonal controls in the formation of Late Miocene inclined heterolithic stratification deposits, western Amazonian foreland basin. *Sedimentology*, 55(3):499-530.
- Hovikoski, J.; Räsänen, M.; Gingras, M.; Roddaz, M.; Brusset, S.; Hermoza, W.; Pittman, L.R. & Lertola, K. 2005. Miocene semidiurnal tidal rhythmites in Madre de Dios, Peru. *Geology*, 33:177-180.
- Hsiou, A.S. 2010. *Lagartos e Serpentes (Lepidosauria, Squamata) do Mioceno Médio-Superior da Região Norte da América do Sul*. Porto Alegre, 238p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Hsiou, A.S. & Albono, A.M. 2009. Presence of the Genus *Eunectes* (Serpentes, Boidae) in the Neogene of Southwestern Amazonian, Brazil. *Journal of Herpetology*, 43(4): 612-619.
- Hsiou, A.S., Albono, A.M. & Ferigolo, J. 2009. First lizard remains (teiidae) from the Miocene of Brazil (Solimões Formation). *Brazilian Journal of Paleontology*, 12(3):225-230.
- Igreja, H.L.S.; Borges, M.S.; Alves, R.J.; Costa Jr., P.S.C. & Costa, J.B.S. 1990. Estudos neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro, NE do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. *Anais...Natal, SBG*, 5:2110-2123.
- Irgang, B.E. & Gastal Jr., C.V. 1996. Macrófitas aquáticas da Planície Costeira do RS. Porto Alegre: Ed. dos autores. 290p.
- Jaillard; Héral, E.G; Monfret, T.; Díaz-Martínez, E.; Baby, P.; Lavenue, A. & Dumont, J.F. 2000. Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Perú, Bolivia and northern most Chile. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, 2000, Rio de Janeiro. *Anais...Rio de Janeiro*, p.481-559.
- Jaramillo, C. & Dilcher, D.L. 2001. Middle Paleogene palynology of central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes. *Palaeontographica B*, 258:87-213.
- Jaramillo, C.A., Rueda, M., & Torres, V. 2011. A palynological zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills of Colombia. *Palynology*, 35:46-84.
- Jaramillo, C.; Hoorn, C.; Silva, S.A.F.; Leite, F.; Herrera, F.; Quiroz, L.; Dino, R. & Antonioli, L. 2010. The origin of the modern Amazon Rainforest: implications of the palynological and palaeobotanical record. In: C. Hoorn & F.P. Wesselingh. (Eds.) *Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past*. 1st. edition, p.317-334.
- Kalgutkar, R. M. & Singler, L. 1995. Some fungal form-taxa from the Maastrichtian and Palaeogene ages. *Mycological Research*, 99:513-522.
- Kalgutkar, R.M. & Jansonius, J. 2000. Synopsis of Fossil Fungal Spores, Mycelia, and Frutifications. *American Association of Stratigraphy Palynologists Foundation, Contributions Series*, 39: 423p.
- Katzer, F. 1933. Geologia do Estado do Pará (Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 9, 1-269.
- Khobzi, J.; Kroonenberg, S.B.; Faivre, P. & Weeda, A.M. 1980. Aspectos geomorfológicos de la Amazonia y Orinoquia Colombianas. *Revista CIAF, Bogotá*, 5(1):97-126.
- Kummel, B. 1948. Geological Reconnaissance of the Contamana Region, Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 69:1217-1268.

- Latrubesse, E.M.; Bocquentini, J.; Santos, J.C.R. & Ramonell, C.G. 1997. Paleoenvironmental model for the Late Cenozoic of Southwestern Amazonia: Paleontology and Geology. *Acta Amazonica*, 27:103-118.
- Latrubesse, E.M.; Silva, S.A.F.; Cozzuol, M. & Absy, M.L. 2007. Late Miocene continental sedimentation in southwestern Amazonia and its regional significance: biotic and geological evidence. *Review Journal of South America Earth Science*, 23: 61-80.
- Latrubesse, E.M.; Cozzuol, M.; Silva-Caminha, S.A.F.; Rigsby, C.A.; Absy, M.L. & Jaramillo, C. 2010. Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the Evolution of the Amazon River System. *Earth Science Reviews*, 99: 99-124.
- Leite, F.P.R. 2004. Palinologia. In: Rossetti, D.F. & Góes, A.M. (Eds.) *O Neógeno da Amazônia Oriental, Museu Paraense Emílio Goeldi*. p.55-90.
- Leite, F.P.R. 2006. *Palinologia da Formação Solimões, Neógeno da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas, Brasil: Implicações Paleoambientais e Bioestratigráficas*. Brasília, 128p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Leite, F.P.R., Oliveira, M.E.B., Arai, M., & Trunckenbroudt, W. 1997b. Palinoestratigrafia da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, Mioceno do Nordeste do Estado do Pará, Brasil. *Revista da Universidade Guarulhos, Geociências*, 2:141-147.
- Leite, F.P.R., Oliveira, M.E.B., De Oliveira, P.E., Silvestre-Capelato, M.S., Arai, M. & Trunckenbroudt, W. 1997a. Palinoflora Miocenas da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, na Região Bragantina, Estado do Pará, Brasil. *Revista da Universidade Guarulhos, Geociências*, 2:128-140.
- Leite, F.P.R. 1997. *Palinofloras Neógenas da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, Área Litorânea Nordeste do Estado do Pará, Brasil*. São Paulo, 116p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo. 116p.
- Lima, H.P. 1987. Notas sobre a análise estratigráfica da Bacia do Marajó. *Petrobrás*. p.34.
- Lima, M.R. & Angulo, R.J. 1990. Descoberta de Microflora em um Nível Linhítico da Formação Alexandra, Terciário do Estado do Paraná, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 62(4):357-371.
- Lima, M.R.; Melo, M.S. & Coimbra, A.M. 1991. Palinologia de Sedimentos da Bacia de São Paulo, Brasil. *Revista do Instituto Geológico*, 12:7-20.
- Lima, M.R. & Amador, E.S. 1985. Análise palinológica de sedimentos da Formação Resende, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8, 1983, Rio de Janeiro. *Coletânea de trabalhos paleontológicos...* Rio de Janeiro, SBP, MME-DNPM, p. 371-378.
- Lima, M.R. & Cunha, F.L.S. 1986. Análise palinológica de um nível linhítico da Bacia de São José de Itaboraí, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 58(4):579-588.
- Lima, M.R. & Dino, R. 1984. Palinologia de Amostras da Bacia de Bonfim, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Geociências USP*, 15:1-11.
- Lima, M.R. & Melo, M.S. 1994. Palinologia de depósitos rudáceos da região de Itatiaia, bacia de Resende- Rio de Janeiro. *Geonomos*, 2(1):12-21.
- Lima, M.R. & Salard-Cheboldaeff, M. 1981. Palynologie des basins de Gandarela et Fonseca (Eocene de L'état de Minas Gerais, Brésil). *Boletim do Instituto de Geociências USP*, 12:33-54.
- Lima, M.R.; Vespucchi, J.B.O. & Suguio, K. 1985. Estudo palinológico de uma camada de linhito da Formação Caçapava, Bacia de Taubaté, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 57:183-197.

- Lindeman, J.C. 1953. The vegetation of the coastal region of Suriname. *Thesis*. University Utrecht, 135p.
- Loczy, L. 1966. Contribuições à paleogeografia e história do desenvolvimento geológico da Bacia do Amazonas. Brasília: *Ministério das Minas e Energia/Departamento Nacional de Produção Mineral/Divisão de Geologia e Mineralogia*, 95 p. (Boletim, 223).
- Lorente, M.A. 1986. Palynology and palynofacies of upper tertiary in Venezuela. *Dissertationes Botanicae*. 99: 222p.
- Lorenzi, H. 1992. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, Plantarum, 352p.
- Lourenço, R.S.; Montalvão, R.M.G.; Pinheiro, S.S.; Fernandes, P.E.C.A.; Pereira, E.R.; Fernandes, C.A.C. & Texeira, W. 1978. Geomorfologia. In: *PROJETO RADAMBRASIL*. Folha SA.20 - Manaus. Rio de Janeiro: DNPM/Ministério de Minas e Energias, p. 17-164. (Levantamento de recursos naturais, 18).
- Lundberg, J.G.; Pérez, M.H.S.; Dahdul, W.M. & Aguilera, O.A. 2010. The Amazonian Neogene fish fauna. In: HOORN, C.; WESSELINGH, F.P. (Eds.). *Amazônia: landscape and species evolution - A look into the past*. Blackwell Publishing Ltd. p.281-301.
- Lunt, D.J.; Valdes, P.J.; Haywood, A. & Rutt, I.C. 2008. Closure of the Panama Seaway during the Pliocene: implications for climate and Northern Hemisphere glaciation. *Clim Dynam* 30:1-18.
- Lyell, C. 1833. Principles of Geology, 3, London, John Murray, 1st ed., 398p.
- Mabberley, D.J. 1997. The Plant-book: A portable dictionary of the vascular plants. Nova York, Cambridge University Press. 858p.
- Macedo, A.C.M. 1970. *Sobre a distribuição de Ostracoda no Mioceno caribeano com um estudo especial sobre os ostracodes da Formação Pirabas, Pará*. Rio de Janeiro, 62p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Macedo, A.C.M. 1971. Considerações sobre os ostracodes do Mioceno marinho do Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43: 523-528.
- Macedo, A.C.M. 1973. Notícias sobre testemunhos de subsuperfície da Formação Pirabas do Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 45:655.
- Maia Jr., R.S. 2001. Turritelídeos (Mollusca-Gastropoda) da Formação Pirabas (Eomioceno)-Estado do Pará. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 2:93.
- Maia, R.G.N.; Godoy, H.K.; Yamaguti, H.S.; Mpura, P.A.; Costa, F.S.F.; Holanda, M.A.; Costa, J.A. 1977. Projeto Carvão no Alto Solimões. *Relatório Final*. CPRM-DNPM, 137p.
- Maizatto, J.R. 2001. *Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca - Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares*. Ouro Preto, 249p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Mandaokar, B.D. & Mukherjee, D. 2012. Palynological Investigation of Early Miocene Sediments Exposed at panruti, cuddalore district, Tamil Nadu, India. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Science*. 2(3):157-175.
- Mapes, R.W. 2009. *Past and present provenance of the Amazon River*. North Carolina, 196p. Tese de Doutorado. Department of Geological Sciences. University North Carolina.
- Marchant, R.; Almeida, L.; Behling, H.; Berrio, J.C.; Bush, B.; Cleef, A.; Duivenvoorden, J.; Kappellen, M.; Oliveira, P.; Oliveira-Filho, A.T.; Lozano-Garcia, S.; Hooghiemstra, H.; Ledru, M.P.; Ludlow-Wiechers, B.; Markgraf, V.; Mancini, V.; Paez, M.; Pietro, A.; Rangel, O. & Salgado-Labouriau, M.L. 2002. Distribution and ecology of parent taxa of

- pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 121: 1-75.
- Matsuoka, K. 1974. Some plant microfossils from the Miocene Fujiwara Group, Nara, Central Japan. *The Palaeontological Society of Japan*, 94:319-340.
- Matsuoka, K.; Bujak, J.P. & Shimazaki, T. 1987. Late Cenozoic dinoflagellate cyst biostratigraphy from the west coast of northern Japan. *Micropaleontology*, 33(3): 214-229.
- Maury, C.J. 1925. Fósseis terciários do Brasil com descrição de novas formas cretáceas. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil (Monografias)*, 4: 1-705.
- Maury, C.J. 1937. Argilas fossilíferas do território do Acre. *Boletim 77. Serviço Geológico e Mineralógico*, 29p.
- Melo, A.F.F. & Villas Boas, P.F. 1993. Caracterização e Distribuição da Formação Içá na Porção Noroeste do Estado do Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4, 1993, Belém. *Resumos Expandidos...* Belém, SBG, p. 210-211.
- Milani, E.J.; Rangel, H.D.; Bueno, G.V.; Stica, J.M.; Winter, W.R.; Caixeta, J.M. & Pessoa Neto, O.C. 2007. Mapas das bacias sedimentares brasileiras e suas cartas estratigráficas – Poster. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(2):572-573.
- Monsch, K.A. 1998. Miocene fish faunas from the northwestern Amazonian basin (Colômbia, Peru, Brazil) with evidence of marine incursions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 143:31-50.
- Moraes-Rego, L.F. 1930. Notas sobre a Geologia do território de Acre e da Bacia do Javari. Cezar & Cavalcante (Eds.), Manaus, 45p.
- Moura, P. 1938. Geologia do Baixo Amazonas. *Boletim do DNPM*. p.91.
- Muller, J. 1959. Palynology of Recent Orinoco delta and shelf sediments: Reports of the Orinoco shelf expedition. *Micropaleontology*, 5(1):1-32.
- Muller, J. 1981. Fossil pollen records of extant angiosperms. *The Botanical Review*, 47(1):1-142.
- Muller, J., Giacomo, E. & Van Erve, A.W. 1987. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. *American Association of Stratigraphic Palynologists Contribution Series*, 19:7-76.
- Mussa, D. 1958. Dicotiledôneo fóssil da Formação Barreiras, Estado do Sergipe, Brasil. *Boletim Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia*, 181: 1-23.
- Nakoman, E. 1965. Description d'un nouveau genre de forme, *Corsinipollenites*. *Annales de la Société géologique du Nord*, 85:155-600.
- Negri, F.R.; Villanueva, J.B.; Ferigolo, J. & Antoine, P.O. 2010. A review of Tertiary mammal faunas and birds from the western Amazonian. In: Hoorn, C.; Wesselingh, F.P. (Eds.). *Amazônia: landscape and species evolution - A look into the past*. Blackwell Publishing Ltd. p.245-258.
- Nogueira, A. C. R. 2008. Guinada para o Atlântico. *Scientific American Brasil*, Brasil, 05 agosto, p. 22 – 27.
- Nogueira, A.C.R.; Silveira, R.R. & Guimarães, J.T.F. 2013. Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of eastern Solimões Basin, central Amazon region. *Journal of South American Earth Sciences*, 46:89-99.
- Nuttall, C.P. 1990. A review of the Tertiary non marine molluscan faunas of the Pebasian and other inland basin of north-western South America. *Bulletin of the British Museum Geology*, 45: 165-371.
- Oliveira, A.J. & Leonardos, O.HO. 1940. Geologia do Brasil. Rio de Janeiro, Comissão Brasileira dos Centenários de Portugal. 472p.

- Oliveira, A.J. & Leonardos, O.H.O. 1943. Geologia do Brasil. Rio de Janeiro, *Ministério da Agricultura*, 2ª. Edição, 813p.
- Oliveira, P.E. 1958. Contribuição à paleontologia do Estado do Pará. Um novo nautilóide da Formação Pirabas. IV – (Mollusca – Cephalopoda). *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi*, 7:1-7.
- Penna, D.S. 1876. Breve notícia sobre os sambaquis do Pará. *Arquivo. Museu Nacional*, 1, 345-357.
- Pereira, J. & Bocquentin, J. 1989. *Brasilosuchus mendensis*, n.g. n.sp., um novo representante da família gavialidae do Neógeno do Acre, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, 1989, Curitiba. *Anais...Curitiba*, SBP, p. 457-463.
- Petri, S. & Fulfaro, V.J. 1983. Geologia do Brasil. São Paulo, *EDUSP*, 631p.
- Petri, S. 1954. Foraminíferos fósseis da Bacia do Marajó. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Geologia)*. 134: 21-38.
- Petri, S. 1957. Foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Geologia)*. 216:1-79.
- Pinto, A.D.P. & Regali, M.S.P. 1990. Palinoestratigrafia dos sedimentos terciários da bacia de Gandarela, Minas Gerais-Brasil. *Revista Escola de Minas*, 44(1):10-15.
- Playford, G. 1982. Neogene Palynomorphs from the Huon Peninsula, Papua New Guinea. *Palynology*, 6:29-54.
- Pons, D. 1969. A propôs d'une Goupiaceae Du Tertiaire de Colombie: Goupioxylon stutzeri Schonfeld. *Paleontographica*. Ab.B, 128(3-6):65-80.
- Pons, D. & De Franceschi, D. 2007. Neogene Woods from western Peruvian Amazon and Paleoenvironmental interpretation. *Bulletin of Geosciences*, 82:343-354.
- Posthumus, O. 1929. *The ferns of Surinam and of French and British Guiana*. Java, Malang. 196p.
- Potonié, H. 1893. Die flora des Rotliegenden von Thüringen. *Abhandlungen der Koniglich Preussischen Geologischen Landesanstalt*, 9(2):1-298.
- Potonie, R. 1931. Zur Mikroskopie der Braunkohlen, Tertiäre Blütenstaubformen. *Braunkohle*, 30:325-333.
- Potonié, R. 1934. Zur Morphologie der fossilen Pollen und Sporen. *Arbeiten aus dem Institut für Paläobotanik und Petrographie Brennstein.*, 4:5-24.
- Potonie, R., 1956. Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. I. Teil: Sporites. *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*, 23:103 p.
- Potonié, R. 1960. Synopsis der Gattungen der Sporae dispersat. III. Teil: Nachträge Sporites, Fortsetzung Pollenites, Mit Genereralregister zer Teil I-III. *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*, 39:1-189.
- Potter, P.E. 1997. The Mesozoic and Cenozoic paleodrainage of South America: a natural history. *Journal of South America Earth Science*, 10: 331-344.
- Premaor, E.; Souza, P.A.; Arai, M. & Helenes, J. 2010. Palinomorfos do Campaniano (Cretáceo Superior) da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul: implicações bioestratigráfica e paleoambientais. *Pesquisas em Geociências*, 37(1):63-79.
- Purper, I. & Ornellas, L.P. 1991. New Ostracodes of the Endemic Fauna of the Pebas formation, Upper Amazon Basin, Brazil. *Pesquisas* 18(1): 25-30.
- Purper, I. 1979. Cenozoic Ostracodes of the Upper Amazon Basin, Brazil. *Pesquisas*, 12: 209-281.
- Quadros, L.P. & Fernandes, A.C.S. 1982. Ocorrências inéditas de nanofósseis calcários da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) na localidade Vila Mãe do Rio, município de Irituia, Pará. *Anais da Academia Brasileira de Geociências*. 54, p.254.

- Ramos, M.I.F. 2006. Ostracods from the Neogene Solimões Formation (Amazonas, Brazil). *Journal of South America Earth Science*, 21: 87-95.
- Räsänen, M.E.; Linna, A.M.; Santos, J.C.R. & Negri, F.R. 1995. Late Miocene tidal deposits in the Amazonian foreland basin. *Sciences*, 269: 386-390.
- Ranzy, A. 2000. *Paleoecologia da Amazônia: Megafauna do Pleistoceno*. Florianópolis, Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 101p.
- Rao, M.R. 1995. Palynostratigraphy zonation and correlation of the Eocene-Early Miocene sequence in Alleppey district, Kerala, India. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 86:325-348.
- Rathbun, M.J. 1919. Decapod Crustaceans from the Panama Region. *Bulletin of the United State National Museum*, 103.:123-184.
- Reading, H.G. & Collinson, J.D. 1996. Clastic coasts. In: H.G. Reading (Ed.) *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Oxford, Blackwell Science, p. 154-231.
- Rebata, L.A.; Gingras, M.K.; Räsänen, M.E.; Barberi, M. 2006. Tidal-channel deposits on a delta plain from the Upper Miocene, Nauta Formation, Marañón Foreland Sub-basin, Peru. *Sedimentology*, 53:971-1013.
- Regali, M.S.P. 1971. *Palinologia dos Sedimentos Cenozóicos da Foz do Rio Amazonas*. São Paulo, 118p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Regali, M.S.P.; Uesugui, N. & Santos, A.S. 1974a. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do Brasil (I). *Boletim Técnico da Petrobrás*, 17(3): 177-190.
- Regali, M.S.P.; Uesugui, N. & Santos, A.S. 1974b. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do Brasil (II). *Boletim Técnico da Petrobrás*, 17(4): 263-301.
- Riccomini, C. 1989. *O Rifte do Sudeste do Brasil*. São Paulo, 256p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de São Paulo.
- Roddaz, M. Baby, P.; Brusset, S.; Hermoza, W. & Darrozes, J.M. 2005. Forebulge dynamics and environmental control in Western Amazonia: The case study of the Arch of Iquitos (Peru). *Tectonophysics*, 399:87-108.
- Rossetti, D.F. 2001. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeaster Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Science*, 4(1): p.77-89.
- Rossetti, D.F. 2006. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, 6(2): 7-18.
- Rossetti, D.F.; Truckenboud, W. & Góes, A.M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região de Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Série Ciências da Terra*, 1(1):25-74.
- Rossetti, D.F. & Góes, A.M. 2004. O Neógeno da Amazônia Oriental. Belém. *Museu Paraense Emilio Goeldi*, 225p.
- Rouse, G.E. 1962. Plant microfossils from the Burrad Formation of western British Columbia. *Micropalaeontology*, 8:187-218.
- Rozo, J.M.G. 2004. *Evolução holocênica do Rio Amazonas entre a Ilha do Careiro e a foz do Rio Madeira*. Manaus, 93p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas.
- Rozo, J.M.G; A.C.R.N.; Horbe, A.M. & Carvalho, A.S. 2005. Depósitos Neógenos da Bacia do Amazonas. In: Horbe, A.M. & Souza, V.S. (Eds.) *Contribuições a Geologia da Amazônia*, 4.: 201-207.
- Rüegg, W. 1956. Geología y petróleo em la faja subandina Peruana. In: CONGRESSO GEOLÓGICO INTERNACIONAL IV, 20, 1956, Mexico. *Anais...México*, p.89-139.

- Rull, V. 1999. Paleofloristic and paleovegetational changes across the Paleocene-Eocene boundary in northern South America. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 105:83-95.
- Rull, V. 2001. A Quantitative Palynological Record from the Early Miocene of Western Venezuela, with Emphasis on Mangroves. *Palynology*, 25:109-126.
- Rull, V. 2003. Contribution of Quantitative Ecological Methods to the Interpretation of Stratigraphically Homogeneous Pre-Quaternary Sediments: A Palynological Example from the Oligocene of Venezuela. *Palynology*, 75-98.
- Sá, J.H.S. 1969. Contribuições à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da Região Bragantina. *Boletim do Instituto de Geologia*, 3:21-36.
- Salgado-Laboriau, M.L. 2007. *Crítérios e técnicas para o Quaternário*. São Paulo, Edgard Blücher, 387p.
- Salim, J.; Souza, C.J.; Muniz, G.B. & Lima, M.R. 1975. Novos subsídios para a elucidação do episódio “Barreiras” no Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA, 7, 1975, Fortaleza. *Atas...Fortaleza*, p. 149-158.
- Santos, D.B. 2005. *Palinologia de amostras da seção-tipo da Formação Itaquaquacetuba, Bacia de São Paulo, na Mineradora Itaquareia I: implicações palinocronoestratigráficas e paleoambientais*. São Paulo, 148p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Guarulhos.
- Santos, D.B.; Garcia, M.J.; Fernandes, R.S.; Saad, A.R. & Bistrichi, C.A. 2006a. Composição paleoflorística dos depósitos terciários da Formação Itaquaquacetuba, Estado de São Paulo, Brasil. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7, SIMPÓSIO DO TERCIÁRIO DO BRASIL, 1, 2006, Serra Negra. *Boletim de Resumos*, UNESP, p. 20.
- Santos, D.B.; Garcia, M.J.; Fernandes, R.S.; Saad, A.R. & Bistrichi, C.A. 2006b. A Paleopalynologia na reconstrução da paisagem terciária da Formação Itaquaquacetuba (Mineradora Itaquareia 1), Município de Itaquaquacetuba, Estado de São Paulo, Brasil. In: SIMPÓSIO ARGENTINO DE PALEOBOTANICA Y PALINOLOGÍA, 13, 2006.
- Santos, D.B.; Garcia, M.J.; Saad, A.R. & Bistrichi, C.A. 2010. Palinoestratigrafia da Formação Itaquaquacetuba, bacia de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 13(3):205-220.
- Santos, J.C.R. dos; Ranzy, A. & Ferigolo, J. 1991. Octodontobradynae: Nova Subfamília de Orophodontidae (Edentata, Tardigrada). Descrição de Porção do Crânio e Mandíbula de Octodontobradys puruensis, Gen.n., sp. n., procedente do Neógeno do Estado do Amazonas, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 12, 1991, São Paulo. *Boletim de Resumos...São Paulo*, SBP, p.35.
- Santos, R.A.; Garcia, M.J.; Oliveira, P.E.; Giannini, P.C.F.; Fernandes, R.S. & Bistrichi, C.A. 2012. Palinomorfos das turfas de Eugênio de Melo, médio vale do rio Paraíba do Sul, São Paulo, Brasil. *Iheringia, Série Botânica*, 67:7-24.
- Scaphati, L.; Melendi, D.L. & Volkheimer. 2009. A Danian subtropical lacustrine palynobiota from South America (Bororó Formation, San Jorge Basin, Patagonia - Argentina). *Geologica Acta*, 7 (1-2):35-61.
- Schettino, A. & Scotese, C.R. 2005. Apparent polar wader paths for the major continents (200 Ma to the present day): a paleomagnetic reference frame for global plate tectonics reconstructions. *Geophysical Journal International*, 163:727-759.
- Schobbenhaus, C. & Bellizia, A. 2000. Mapa Geológico da América do Sul. Rio de Janeiro, CPRM/DICART.
- Schobbenhaus, C., Campos, D.A. & Derze, G.R. 1984. *Geologia do Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM. 435p.

- Silva, S.A.F. 2008. *Palinologia do Neógeno da Bacia do Alto Solimões, Amazônia Ocidental, Brasil: Aspectos Sistemáticos, Bioestratigráficos e Paleoecológicos*. Manaus, 182p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA.
- Silva, W.G.; Souza, P. A. & Arai, M. 2011. Palinomorfos Neógenos do Poço 2-CA-1-RS, Bacia de Pelotas, Brasil: Significado Bioestratigráfico e Paleoecológico. *Revista do Instituto de Geociência - USP*, 11:149-169.
- Silva. S.A.F. 2004. *Palinologia do neógeno da Amazônia Sul Ocidental, Brasil*. Manaus, 105p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA.
- Silva-Caminha, S.A.F.da.; Jaramillo,C.A. & Absy, M.L. 2010. Neogene palynology of the Solimões Basin, Brazilian Amazônia. *Palaeontographica*, 283:1-67.
- Silveira, R.R. & Nogueira, A.C.R. 2007. Cronoestratigrafia de Depósitos Miocenos da Bacia do Solimões e sua correlação com depósitos da Amazônia. *In: CONGRESSO DA ABEQUA*, 11, 2007, Belém. *Boletim de Resumos...* Belém, v. 1, CD Rom.
- Silveira, R.R. & Souza, P.A. (submetido a). Palinoestratigrafia e Paleoambiente dos Depósitos de Atalaia do Norte e Tabatinga, Formação Solimões, Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*.
- Silveira, R.R. & Souza, P.A. (submetido b). Palinologia (Esporos de Fungo e Pteridófitas, Grãos de Pólen de Gimnospermas, Cistos de Algas e Escolecodonte) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), Amazonas, Brasil. *Pesquisas em Geociências*.
- Silveira, R.R. & Souza, P.A. (submetido c). Palinoestratigrafia e Paleoambiente dos Depósitos de Atalaia do Norte e Tabatinga, Formação Solimões, Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*.
- Silveira, R.R. 2005. *Cronoestratigrafia e Interpretação Paleoambiental de Depósitos Miocenos da Formação Solimões, Região de Coari, AM*. Manaus, 115p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- Silveira, V.D. 1981. *Micologia*. 4^a. Ed. Rio de Janeiro, Interamericana.332p.
- Singh, C. 1964. Microflora of the Lower Cretaceous Mannville Group, East-Central Alberta. *Research Council of Alberta Bulletin*, 15:1-239.
- Soares Junior, A.D.; Costa, J.B.S. & Hasui, Y. 2008. Evolução da Margem Atlântica Equatorial do Brasil: Três Fases Distensivas. *Geociências*, 27(4): 427-437.
- Soares, E.F.; Zalán, P.V.; Figueiredo, J.J.P. & Junior, I.T. 2007. Bacia do Pará-Maranhão. *Boletim de Geociências Petrobrás*, 15(2): 321-329.
- Takahashi, K. & Jux, U. 1989. Palynology of Middle Tertiary lacustrine deposits from the Jos Plateau, Nigeria. *Bull. Faculty of Literal Arts, Nagasaki Univ.* 29(2):181-367.
- Talbot, M.R. & Allen, P.A. 1996. Lakes. *In: H.G. Reading (Ed.). Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Oxford, Blackwell Science, p. 83-124.
- Távora, V.A. & Souza, S.R. 2000. Primeiro registro fóssil de *Portunus spinimanus* e *Tetraxanthus rathbunae* no Brasil - Formação Pirabas no Estado do Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE CRUSTÁCEOS*, 1, 2000, São Pedro. *Anais...*São Pedro, p.191.
- Távora, V.A. 1994. Uma faúnula de briozoários da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) - Estado do Pará. *Acta Geológico Leopoldensia*, 17:145-156.
- Távora, V.A.; Castro, C.B. & Medeiros, M.S. 1997. Sobre a ocorrência de gorgônias (Cnidaria-Octocorallia) na Formação Pirabas (Eomioceno) - Estado do Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA*, 15, 1997, São Pedro. *Boletim de Resumos...*São Pedro, SBP, v.1, p.41.

- Távora, V.A.; Gonçalves, D.F. & Araújo, T.C.C. 2002a. Ocorrência de uma nova espécie de escleractíneo (Coelenterata) na Formação Pirabas (Eomioceno) – Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 32:231-234.
- Távora, V.A.; Mesquita, N.; Souza, S.R.; Cacula, A.S.M. & Texeira, S.G. 2002b. Sistemática e tafonomia dos crustáceos decápodes da ecofauna Capanema da Formação Pirabas (mioceno Inferior), Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 32:223-230.
- Thainikaimoni, G. 1986. *Mangrove Palynology*. Paris, UNDP/UNESCO - INST. FRANC. PONDICHERRY Tome XXIV, 100p.
- Traverse, A. 1988. *Palaeopalynology*. Boston, Unwin Hyman. 600p.
- Truckenbrodt, W.; Nogueira, A.C.R.; Góes, A.M. & Arai, M. 1994. Conteúdo fossilífero e estruturas sedimentares nos sedimentos Barreiras, NE do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Balneário Camboriú. *Boletim de Resumos... Balneário Camboriú, SBG*, 3: 210-211.
- Tryon, R.M. & Tryon, A.F. 1982. *Ferns and Allied Plants*. New York, Springer-Verlag, 648p.
- Uesugui, N. 1979. Palinologia: técnicas de tratamento de amostras. *Boletim Técnico da Petrobrás*, 22:229-240.
- van der Hammen, T. & García de Mutis. 1965. The Paleocene pollen flora of Colombia. *Leidse Geologische Mededelingen*, 35:105-116.
- van der Hammen, T. & García de Mutis. 1966. The Paleocene pollen flora of Colombia. *Leidse Geologische Mededelingen*, 35:105-116.
- van der Hammen, T. & Hooghiemstra, H. 2000. Neogene and Quaternary history of vegetation, climate, and plant diversity in Amazonia. *Quaternary Science Reviews*, 19:725-742.
- van der Hammen, T. & Wymstra, T.A. 1964. A palynological study on the Tertiary and Upper Cretaceous of British Guyana. *Leidse Geologische Mededelingen*, 30:183-241.
- van der Hammen, T. 1954. El desarrollo de la flora Colombiana en los periodos geológicos; I. Maastrichtiano hasta Terciario más inferior. *Boletín Geológico (Bogotá)*, 2(1):49-106.
- van der Hammen, T. 1956. A palynological systematic nomenclature. *Boletín Geológico (Bogotá)*, 4:63-101.
- van der Hammen, T. 1963. A Palynological Study on the Quaternary of British Guiana. *Leidse Geologische Mededelingen*, 29:126-169.
- van Geel, B. & van der Hammen, T. 1978. Zygnetaceae in Quaternary Colombian sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25: 377-392.
- van Hoeken-Klinkenberg, P.M.J. 1966. Maastrichtian, Paleocene and Eocene pollen and spores from Nigeria. *Leidse Geologische Mededelingen*, 38:37-48.
- Vega, A.M.L. 2006. *Reconstituição Paleoambiental dos Depósitos Miocenos na Região Centro Oriental da Bacia do Solimões*. Manaus, 92p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas.
- Villegas, J.M.C. 1994. *Geologia estrutural da bacia do Marajó*. Belém, 119p. Dissertação de Mestrado. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Vonhof, H.B. & Kaandorp, R.J.G. 2010. Climate variation in Amazonia during the Neogene and the Quaternary. In: Hoorn, C. & Wesselingh, F.P. (Eds.) *Amazônia: landscape and species evolution - A look into the past*. Blackwell Publishing Ltd. p. 201-210.
- Vonhof, H.B.; Wesseling, F.P. Kaandorp, R.J.G.; Davies, G.R.; van Hinte, J.E.; Guerrero, J.; Räsänen, M.; Romero-Pittman, L. & Ranzi, A. 2003. Paleogeography of Miocene Western Amazonia: isotopic composition of molluscan shells constrains the influence of marine incursions. *Geol. Soc. of America Bulletin*, 115: 983-993.

- Vonhof, H.B.; Wesseling, F.P. & Ganssen, G.M. 1998. Reconstruction of the Miocene western Amazonian aquatic system using molluscan isotopic signatures. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 141:85-93.
- Walker, R.G. 1984. Shelf and shallow marine sand. In: Walker, R.G. (Ed.), *Facies Models*. Toronto, Geoscience Canada Reprint Series, p. 141-170.
- Walker, R.G. 1992. Facies, facies models and modern Stratigraphic concepts. In: R. Walker & N.P. James (Eds.) - *Fácies Models: Response to Sea Level Change*. Toronto, St. John's Geoscience Canada, p.1-14.
- Wanderley Filho, J.R.; Eiras, J.F. & Vaz, P.T. 2007. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências Petrobras*, 15(2): 217-225.
- Wentworth, C.K. 1922. A escale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, v.30.
- Wesselingh, F.P. & Ramos, M.I.F. 2010. Amazonian aquatic invertebrate fauna (Mollusca, Ostracoda) and their development over the past 30 millions years. In: Hoorn, C.; Wesselingh, F.P. (Eds.). *Amazônia: landscape and species evolution - A look into the past*. Blackwell Publishig Ltd, p. 302-316.
- Wesselingh, F.P.; Räsänen, M.E.; Irion, G.; Vonhof H.B.; Reneme, W.; Romero Pittman, L. & Gingras, M. 2002. Lake Pebas: a palaeoecological reconstruction of a Miocene, long-lived lake complex in western Amazonia. *Cainozoic Research*, 1(1-2):35-81.
- White, C.A. 1887. *Contribuição à Paleontologia do Brasil*. Arquivos do Museu Nacional. 7:1-273.
- Willis, K.J. & McElwain, J.C. 2002. *The Evolution of Plants*. Oxford, Oxford University Press, 378p.
- Worobiec, E. 2009. Middle Miocene palynoflora of the Legnica lignite deposit complex, Lower Silesia, Poland. *Acta Palaeobotanica*, 49(1):5-133.
- Yamamoto, I.T. 1995. *Palinologia das Bacias Tafrogênicas do Sudeste (bacias de Taubaté, São Paulo e Resende): análise bioestratigráfica integrada e interpretação paleoambiental*. Rio Claro, 217p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Zachos, J.; Pagani, M.; Sloan, L.; Thomas, E. & Billups, K. 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to presente. *Science*, 292: 686-693.
- Zalán, P.V. 2004. Evolução Fanerozóico das Bacias Sedimentares Brasileiras. In: Mantesso-Neto, V.; Bartoreli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. (Eds.). *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da ora de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Editora Beca. cap.33, p.595-612.

Anexos

Anexo 1. Carta de Recebimento de Manuscrito enviado a Revista Brasileira de Paleontologia.



REVISTA BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA

Porto Alegre, 20 de outubro de 2014.

Ilma. Paleontóloga

ROSEMERY ROCHA DA SILVEIRA

Programa de Pós-Graduação em Geociências/Ufrgs

N/C

Prezado Autor

Informamos que em 20 de outubro de 2014 recebemos o manuscrito intitulado "*Palinologia (Grãos de pólenes de angiospermas) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), das Regiões de Coari e Alto Solimões, Amazonas*" da autoria de ROSEMERY ROCHA DA SILVEIRA & PAULO ALVES DE SOUZA. A submissão do MS foi aceita e ficará sob os cuidados editoriais de Maria Judite Garcia. Em breve ele será enviado para dois revisores *ad hoc* para avaliação. Em tempo oportuno entraremos novamente em contato.

Cordialmente,

Dr. João Carlos Coimbra

Editor-chefe RBP

Editores-chefes da RBP

Dra. Ana Maria Ribeiro
FZB-RS, Av. Dr. Salvador França, 1427
90690-000, Porto Alegre, RS, Brasil
ana.ribeiro@fzb.rs.gov.br

Dr. João Carlos Coimbra
UFRGS/IG, Av. Bento Gonçalves, 9500
91501-970, Porto Alegre RS, Brasil
joao.coimbra@ufrgs.br

Anexo 2. Carta de Recebimento de Manuscrito enviado a Pesquisas em Geociências.

Porto Alegre, 01 de outubro de 2014.

À
Rosemery Rocha da Silva e co-autor(es)

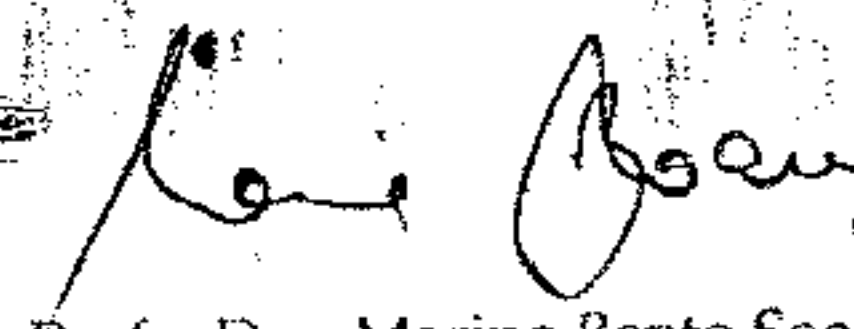
Venho comunicar o recebimento do manuscrito abaixo listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição. O manuscrito será analisado quanto ao conteúdo e enquadramento nas normas de preparação, para que seja iniciado o processo de análise por pares.

Título: *Palinologia (esporos de fungos e pteridófitas, grãos de pólen de gimnospermas, cistos de algas e escolecodontes) das formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), Amazonas, Brasil.*

Autores: Rosemery Rocha da Silveira & Paulo Alves de Souza.

Atenciosamente,



Prof. Dra. Marina Bento Soares
Comissão Editorial

Pesquisas em Geociências

Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia

Av. Bento Gonçalves, nº 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127

CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

Email: marina.soares@ufrgs.br

Anexo 3. Carta de Recebimento de Manuscrito enviado a Geociências

Ofc. revgeoc. 335

Rio Claro, 03 de Outubro de 2014.

A

Sra. Rosemery Rocha da Silveira

Ilma. Sra.,

Vimos pela presente agradecer a submissão do artigo “**PALINOESTRATIGRAFIA DA FORMAÇÃO SOLIMÕES NA REGIÃO DO ALTO SOLIMÕES (ATALAIA DO NORTE E TABATINGA), AMAZONAS, BRASIL**” de sua autoria e de Paulo Alvez de Souza, que está em análise pelo corpo consultivo da Revista Geociências.

Atenciosamente



Marcos Aurélio Farias de Oliveira

Anexo 4. Artigo Publicado

Nogueira, A.C.R.; Silveira, R.R. & Guimarães, J.T.F. 2013. Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of the eastern Solimões Basin, central Amazon region. *Journal of South American Earth Sciences*, 46:89-99.



Neogene–Quaternary sedimentary and paleovegetation history of the eastern Solimões Basin, central Amazon region



Afonso César Rodrigues Nogueira^a, Rosemery Silveira^b, José Tasso Felix Guimarães^{c,*}

^a Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa 1, Guamá, 66075-110 Belém, PA, Brazil

^b Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Av. General Rodrigo O. J. Ramos, 3000, Coroado, 69077-000 Manaus, AM, Brazil

^c Instituto Tecnológico Vale – ITV, Rua Boa Ventura da Silva, nº 955, 3º andar, Umarizal, 66055-090 Belém, PA, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 9 October 2012

Accepted 13 May 2013

Keywords:

Cenozoic

Amazon River

Solimões Basin

Paleovegetation

Paleoenvironmental changes

Palynology

ABSTRACT

Palynological and stratigraphical analyses were carried out on the outcrops of the Solimões River to present new information about freshwater paleoenvironments of a fluvial–deltaic and meandering river system, evaluate the vegetation changes in the upper Solimões and Içá Formations in the eastern Solimões Basin, and the role of the Purus Arc in the evolution of central Amazon during the upper Neogene. The upper Miocene to Pliocene Solimões Formation is related to a fluvial–deltaic system, with fine-grained sediments of the prodelta–lacustrine environment supplied by meandering distributaries and delta front environment. The lake and distributaries were surrounded by extensive deltaic and floodplains colonized by lowland freshwater forests under wet climate conditions, persisting until the Pliocene. The Içá Formation started to deposit unconformably on the Solimões Formation during the Pleistocene, following the development of extensive meandering channels surrounded by floodplains of an essentially fluvial system linked to development of the present eastward direction of the Amazon River until the Atlantic coast. These floodplains were colonized by few palm species and pteridophytes of lowland freshwater forests during the Pleistocene. Additionally, no algae and fungi were observed, which may be related to drier climate conditions and/or different morphological conditions than the upper Solimões Formation.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The northwestern Amazon drainage flowed northward and reaches the paleo-Orinoco River in Maracaibo Basin in the Lower Miocene (Hoorn et al., 2010). During the Lower to Upper Miocene, cordillera uplift formed the Amazon River, engulfing Amazon lowland, which allowed the development of an extensive wetland and lacustrine system in the Solimões and Pebas Formation. These sedimentary deposits present abundant palm swamps, lowland forests and mangrove pollen. This latter indicates episodic marine influences in this region (Hoorn, 1993). The ephemeral marine incursion was also supported by the presence of molluscs and ostracods adapted to brackish water conditions, and also shallow marine foraminifera (Nuttall, 1990; Hoorn, 1990, 1991). This marine incursion occurred via Caribbean and it was compared with the phases of global sea-level rise during the Burdigalian (Lower Miocene), Langhian and Serravallian (Middle Miocene) (Hoorn, 1993).

Unlike all of these findings reviewed by Hoorn et al. (2010), vertebrate paleofauna and palynomorphs indicate that the Solimões Formation in Acre, southwestern Brazilian Amazon, has continental origin, with avulsive fluvial belts in a floodbasin–floodplain environment (Latrubesse et al., 2007; Riff et al., 2010; Lundberg et al., 2010). Furthermore, these authors also demonstrate that deposits in Peruvian Amazonia attributed to Miocene tidal environments are fluvial sediments that have been misinterpreted (both environmentally and chronologically) by several authors (e.g. Nuttall, 1990; Hoorn, 1990, 1991, 1994a; Hoorn et al., 2010; Linhares et al., 2011).

Foreland and intracratonic basins may have captured the influx of the Andean sediments for periods of millions of years, resulting in pulses of deposition eastward by the Amazon drainage system (Hoorn et al., 2010), but following the most intense Andean uplift the development of the modern transcontinental drainage of the Amazon River to the Atlantic Ocean occurred in the Upper Miocene (Campbell, 1992; Hoorn, 1993; Figueiredo et al., 2009; Hoorn et al., 2010), Pliocene (Latrubesse et al., 2010) or Pliocene/Pleistocene (Ribas et al., 2011).

Despite these arguments, the onset converted the lacustrine–wetland system of the Pebas and Solimões Formations into a fluvial system or fluvial tidal system (Hoorn et al., 2010). However, Middle

* Corresponding author. Tel.: +55 91 32637220/32018275, +55 91 91865261 (mobile); fax: +55 91 32637220.

E-mail addresses: anogueira@ufpa.br (A.C.R. Nogueira), rrsilveira@ufam.edu.br (R. Silveira), tasso.guimaraes@vale.com, tasso@ufpa.br (J.T.F. Guimarães).

to Upper Miocene Novo Remanso Formation in the Amazon Basin presents detrital zircon ages of 1.90 and 1.91 Ga (U–Pb) related to the Amazon Craton Ventuari–Tapajó Province (Mapes et al., 2006; Abinader et al., 2007), which indicate headwaters likely located in the eastern flank of the Purus Arc, and bedrock area to the north and south. Additionally, palynological content of this lithostratigraphic unit did not present Andean palynomorphs (Dino et al., 2012).

In the western flank of the Purus Arc related to eastern portion of the Solimões Basin, Vega (2006) and Vega et al. (2007) identified a fluvial–deltaic system with delta plain, delta front and lacustrine–prodelta environments restricted to the Solimões Basin, which prograded to east against the Purus Arc without overcome it during the Upper Miocene. These authors suggested that the presence of a fluvial–delta provides new insights about an important barrier to the Amazon River inflow until, at least, the Pliocene. Therefore, this theme is still waiting for further discussion about ephemeral marine incursion, stages of Andes orogeny and its influence on Amazon environments during the Neogene and Quaternary boundary as well as the onset of the Amazon River to the Atlantic Ocean. Therefore, based on the palynological and stratigraphical analyses, this work aims to (1) introduce new insights about the fluvial–deltaic system of the western flank of the Purus Arc, (2) evaluate vegetation patterns in the upper Solimões and Içá Formations in the eastern Solimões Basin, and (3) the role of the Purus Arc in the evolution of the central Amazon during the Neogene–Quaternary.

2. Study area

The Neogene–Quaternary deposit of this work is located in the upper portion of the intracratonic Solimões Basin that presents an E–W orientation installed in the Proterozoic crystalline basement and sedimentary rocks of the central Amazon Province (Cordani et al., 1984). The Solimões Basin is limited in the eastern part by the Purus Arc, separating the Amazonas from the Solimões Basins, while the western part is limited by the Iquitos Arc that restricts the sub-Andean basins (Fig. 1). Guianas and Brazilian Shields bound the northern and southern part of the Basin. The Purus Arc is an oriented NW–SE structure, which is recognized in isopach maps, geological, seismic and gravimetric sections, and includes in its history a series of subsidence and uplifted phases (Caputo et al., 1972; Wanderley-Filho et al., 2010; Barbosa and Nogueira, 2011). In the Neoproterozoic, the Purus Arc region was a graben filled by siliciclastic and carbonate deposits of the Purus Group which was subsequently inverted (Wanderley-Filho et al., 2010; Barbosa and Nogueira, 2011). During the Paleozoic and Mesozoic, the Purus Arc controlled the migration of depositional systems of the Solimões and Amazonas basins as well as marine incursions (Mapes et al., 2006; Wanderley-Filho et al., 2010; Barbosa and Nogueira, 2011).

The sedimentary infill of the Solimões Basin is formed by the interactions among tectonic subsidence sediment input from basin palaeo-bathymetry and local climatic conditions (Wanderley-Filho et al., 2010). The uppermost sequence of this basin is represented by the Javari Group and it includes conglomerates, feldspathic-kaolinitic sandstones and mudstones of the Upper Cretaceous Alter do Chão Formation that corresponds to the abandoned floodplains and braided river channels (Cunha et al., 1994; Dino et al., 1999). This unit is unconformably overlaid by sandstones, siltstones, and claystones rich in fossils of continental origin of the Miocene Solimões Formation (e.g. Latrubesse et al., 2007; Latrubesse et al., 2010). Sandstones and subordinated claystones of the Pliocene–Pleistocene Içá Formation unconformably overlay the Solimões Formation (Maia et al., 1977; Rossetti et al., 2005). The

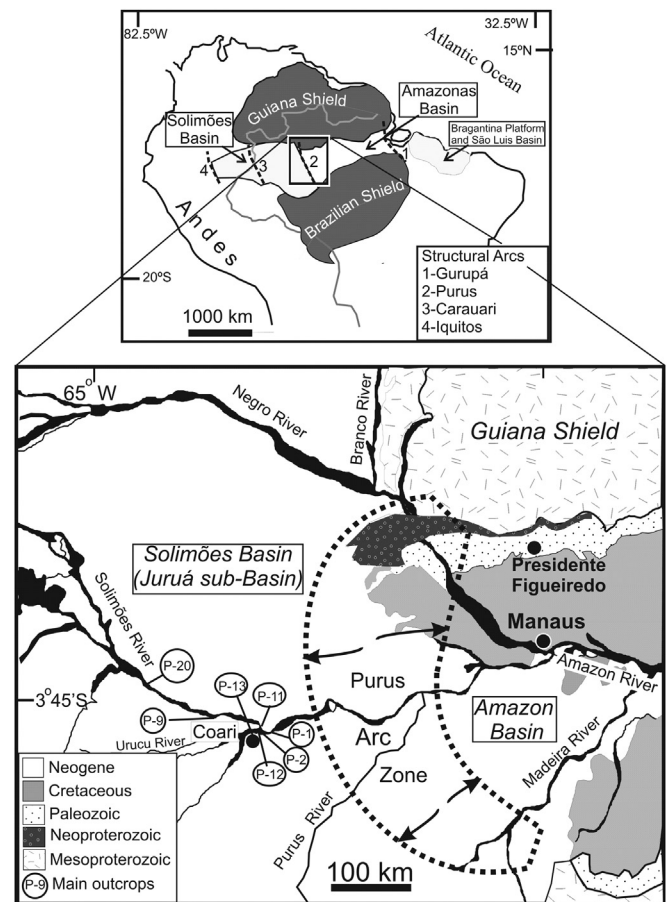


Fig. 1. Localization and geology of Coari region, in the Juruá sub-basin, including eastern border of Solimões Basin and western border of Amazonas basin, close to Purus Arch zone. The studied outcrops are indicated in this map.

age of these units can be corroborated with the Miocene to Pleistocene palinozones identified by Lorente (1986) in Venezuela, Silva (1998) and Silva-Caminha et al. (2010) in central Amazon region (Table 1).

3. Material and methods

Seven outcrops, each up to 20 m thick located along the margin of the Solimões River of Coari (Figs. 1 and 2) were described by facies and palynological analysis. Facies analysis included the descriptions of color, lithology, texture and structures following Walker (1992), and facies were codified following Miall (1978). A total of 66 mudstone samples, rich in organic matter were collected for palynological analysis. Based on Uesugui (1979) method, 30 g samples were dried, weighed, and treated with hydrochloric and hydrofluoric acid to remove carbonate and silicate fractions. Then, sieved to a particle size of <10 μm, and mounted on glass slides with Entellan. Handbooks of pollen and spores morphology were consulted (e.g. Traverse, 2008; Hesse et al., 2008), as well as we compared the palynomorphs and palinozones described to South America (Van der Hammen, 1956a, 1956b; Van der Hammen and Wijnstra, 1964; Germeraad et al., 1968; Dueñas, 1980; Lorente, 1986; Muller et al., 1987; Hoorn, 1993, 1994; Jaramillo and Dilcher, 2001; Silva-Caminha et al., 2010; Jaramillo et al., 2011). Pollen and spores were described using the terminology of Punt et al. (2007) and classification system of Iversen and Troels-Smith (1950). Taxonomic affinity and ecology were also defined by

Table 1

Biozonations established for other areas in South America and the correlation between Venezuela (Lorente, 1986) and Amazonia (Silva, 1998; modified from Silva-Caminha et al. (2010).

Age	Site			
	Venezuela Lorente (1986)		Brazil Silva (1998)	
	Maracaibo Basin	Falcon Basin	Eastern Venezuelan Basin	Solimões Basin
Pleistocene	<i>Alnipollenites</i>	<i>Alnipollenites verus</i>	<i>Psilatricolporites caribbiensis</i>	<i>Psilatricolporites caribbiensis</i>
Pliocene	<i>Fenestrites Longispinosus</i>	<i>Psilatricolporites caribbiensis</i>	<i>Psilatricolporites caribbiensis</i>	<i>Psilatricolporites caribbiensis</i>
Miocene	Upper	<i>Stephanocolpites evansii</i>	<i>Stephanocolpites evansii</i>	<i>Psilatricolporites caribbiensis</i>
	Asteraceae: <i>Cichoreacidites</i> (<i>Fenestrites</i>)	Asteraceae	Asteraceae: <i>Cichoreacidites</i> (<i>Fenestrites</i>) Asteraceae: <i>Bombacacidites ciriloensis</i>	Asteraceae: <i>Cichoreacidites</i> (<i>Fenestrites</i>)

morphological comparisons using handbooks of Quaternary pollen and spores (Roubik and Moreno, 1991; Colinvaux et al., 1999; Hesse et al., 2008), and the Neotropical Pollen Database (Bush and Weng, 2006). Pollen and spores data are presented in pollinic diagrams as frequency of the total palynomorph amount (<10%, rare; 10–30%, common; 30–80%, abundant). Taxa were grouped into ecological units: lowland freshwater forests, grassland, andine, lowland pteridophyte, others (algae, fungi and acritarchs) and Paleozoic spores and acritarchs.

4. Results

The sediments mostly consist of fine-grained sandstones and mudstones with complex cross-bedding and inclined heterolithic stratification, siltstones, fine to medium-grained sandstones, intraformational conglomerates and laminated mudstones (Fig. 2; Table 2). Pollen and spore records were added to facies characteristics in order to define five facies associations that represent the fluvial–deltaic and meandering fluvial systems (Fig. 3).

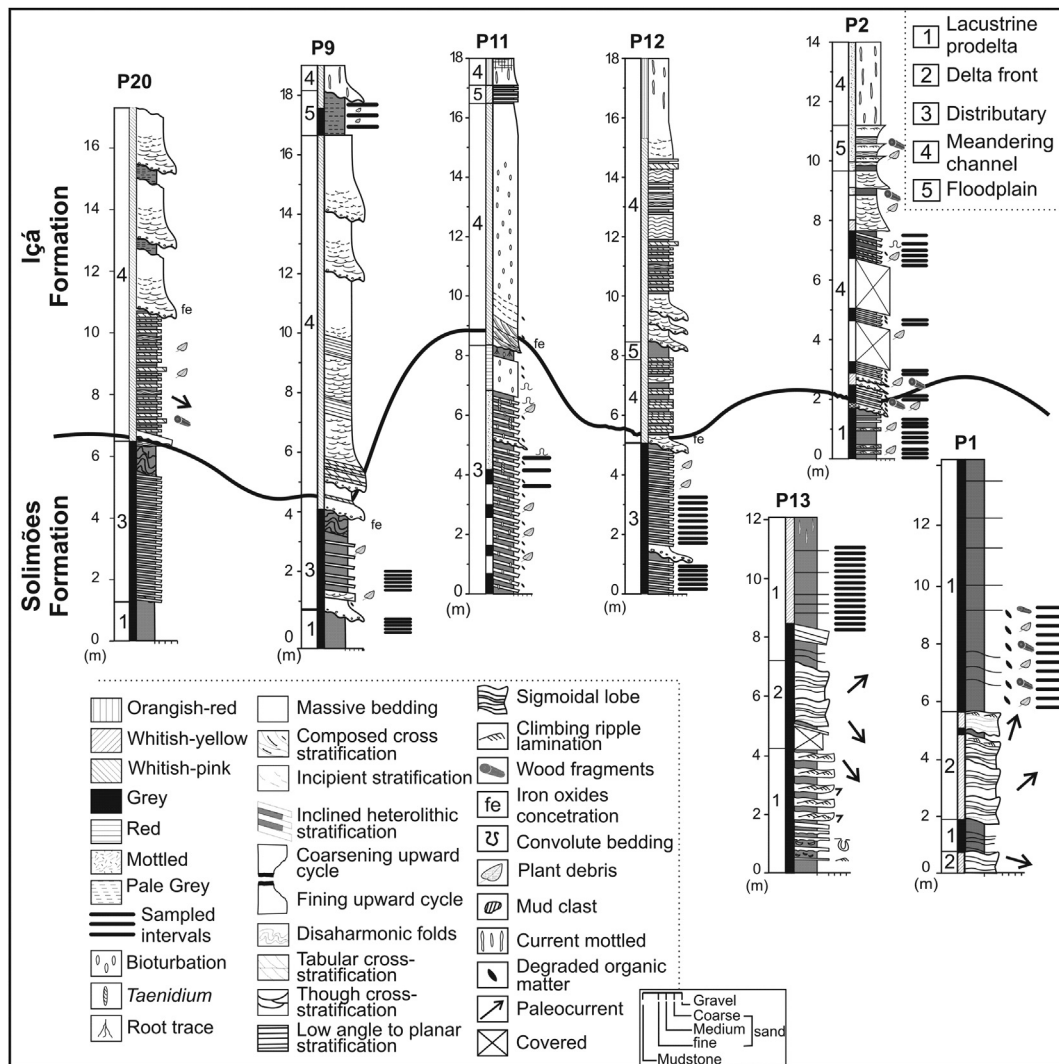


Fig. 2. Stratigraphic sections of Neogene succession exposed in the margins of Solimões River, near Coari city of Amazonas state. The base of sections represents the lowermost water level of the river. Locations of sections are given in Fig. 1.

Table 2
Lithofacies and sedimentary processes of Cenozoic succession in Coari region, Amazon region, Brazil.

Lithofacies	Structures	Depositional processes
Laminated mudstone with plants debris, organic matter and coal (facies Ml)	Even parallel lamination, intercalations of sandstone and siltstone.	Deposition by suspension with sporadic terrigenous inflow
Fine-grained sandstone/mudstone rhythmite (facies SMr)	Heterolithic bedding with wavy-linsen stratification. Ball and pillow structures and convolute bedding.	Migration of ripple marks; traction alternating with suspension. Episodic terrigenous inflow. Hydroplastic adjustments with overload and liquefaction processes.
Fine-grained sandstone with climbing ripple cross lamination (facies Sc)	Subcritically climbing ripple cross lamination. Convolute bedding.	Deposition by traction and suspension with migration of ripples marks under unidirectional flow. Liquefaction process.
Fine-grained sandstone with compound cross stratification (facies Scs)	Planar to wavy stratification, trough and sigmoidal cross beddings. Reactivation surfaces, convolute lamination and syndimentary faults.	Deposition by currents in upper to lower flow regime with fast deceleration of energy. Episodes of stop and resumption of sedimentation. Gravitational instabilities and liquefaction process.
Massive Fine-grained sandstone (facies Sm)	Massive bedding	Liquefaction process associated with high inflow of sediments. Fast deposition and gravitational instability.
Fine-grained sandstone and mudstone with heterolithic bedding (facies SMi)	Inclined heterolithic stratification	Lateral accretion of point bar in high sinuosity channel.
Fine-grained sandstone and mudstone with deformational structures (facies SPd)	Contorted bedding formed by folds and small scale load cast structure, convolute lamination, flame structure and syndimentary normal faults.	Penecontemporaneous hydroplastic deformation associated with slumping and sliding in channel flank. Liquefaction process.
Fine to medium grained cross bedded sandstone (facies St)	Trough cross bedding	Migration of three dimensional bedform under lower unidirectional flow regime.
Fine to medium grained sandstone (facies Se)	Even parallel stratification	Deposition related to unidirectional upper flow regime (plane bed).
Matrix- to clast-supported conglomerate (facies Cm)	Massive bedding. Rounded mudstone pebble.	Reworked of mudstone layers of cutbank by channelized high energy flow.

4.1. Solimões Formation

4.1.1. Facies association 1 (FA1) – lacustrine prodelta

FA1 is characterized by dark gray laminated mudstones (facies Ml) with several vegetable remains, organic matter and coal (Figs. 2 and 4). Locally, heterolithic beds with deformational structures and climbing-ripple cross-lamination can also be observed (Table 2; facies SMr and Sc).

Palynomorphs from lowland freshwater forests are predominant in the FA1, that is marked by *Bombacacidites ciriloensis* Muller et al., 1987, *Clavamonocolpites lorentei* Muller et al., 1987, *Echiperiporites akanthos* Van der Hammen and Wijmstra, 1964, *Perisyncolporites pokorny* Germeraad et al., 1968, *Leiotriletes adriennis* Krutzsch, 1959, *Verrucatosporites usmensis* Germeraad et al., 1968 (Fig. 3). This paleobotanical setting is also supported by the common frequency of *Bombacacidites ciriloensis*, *Crototricolpites annemariae* Leidelmeyer, 1966, *Mauritiidites franciscoi* var. *franciscoi* Van Hoeken-Klinkenberg, 1964. These palms are common in swamps of the alluvial plain (Hoorn, 1993). *Retitricolporites irregularis* Van der Hammen and Wijmstra, 1964 that colonized creeks and rivers margins (Hoorn, 1994b). Grassland pollen of *Fenestrites longispinosus* Lorente, 1986, *Fenestrites spinosus* Van der Hammen, 1956 and *Echitricolporites spinosus* Germeraad et al., 1968 are also common.

4.1.2. Facies association 2 (FA2) – delta front

FA2 presents fine-grained sandstones with trough cross bedding and sigmoidal geometry (Figs. 2, 5a and b), planar to wavy stratification, climbing ripple cross laminations (Fig. 5c) and deformational structures (facies Scs, Sm and Sc, respectively; Table 2). Inclined forests are oriented toward east. The sandstone facies is interbedded with mudstone (Fig. 5d) and heterolithic layers (facies SMr) forming coarsening up cycles.

4.1.3. Facies association 3 (FA3) – meandering distributary

FA3 shows thin mudstone beds interbedded with fine-grained sandstone forming inclined heterolithic stratification (IHS) (Figs. 2 and 6; facies SMi). The basal portion of the IHS is marked by intraformational conglomerates rich in plants remains and

mudstone pebbles (facies Cm). Laminated mudstones are, sometimes, bioturbated and eventually interbedded with lenticular sandstone layer. Deformed beds (facies SPd) can be locally observed (Table 2).

Palynomorphs from lowland freshwater forests are dominant in the FA3 (Fig. 3), which is represented by *C. lorentei*, *Laevigatosporites vulgaris* Potonié and Kremp, 1956, *V. usmensis* and *L. adriennis*. *Monoporopollenites annulatus* Jaramillo and Dilcher, 2001 is abundant and it can be found on moist forest moist forests (also aquatic) and grassland (Germeraad et al., 1968; Lorente, 1986). Paleozoic Acritarchs are abundant at this facies. The common frequency of *Bombacacidites bellus* Frederiksen, 1983, *C. annemariae*, *Proxapertites tertiaria* Van der Hammen, 1956a, *Retitricolpites simplex* González-Guzmán, 1967, *Spinizonocolpites echinatus* Muller, 1968, *Psilatrilletes peruanus* Hoorn, 1994b and *Polypodiaceoisporites potoniei* Kedves, 1961 suggest well-developed lowland forests and swamps (Lorente, 1986). Grassland pollen of *F. longispinosus*, *F. spinosus* and *E. spinosus* are also common, as well as *Cyathidites annulatus* Potonié, 1956, a montane forest spore (e.g. Torres and Méon, 1993).

4.2. Içá Formation

4.2.1. Facies association 4 (FA4) – meandering channel

FA4 with FA5 present a fining upward succession with the top marked by gray mudstones (Figs. 2 and 7a). FA4 has fine to medium-grained sandstone interbedded with thin mudstone beds forming IHS (facies SMi) and intraformational conglomerates with mudstone pebbles (facies Cm) (Fig. 7b). FA4 also have fine to medium-grained sandstone with trough cross-bedding (Fig. 7c; facies St) and even-parallel stratification (facies Se) occurs interbedded with conglomerates (facies Cm) marking channel geometry (Table 2). Abundant wood fragments in sandstone layer in the heterolithic beds are related of point bar deposits (Fig. 7d; facies Cm).

FA4 is mainly characterized by the dominance of *C. lorentei*, *L. adriennis* and *V. usmensis*, representing lowland freshwater forests (Fig. 3). Grassland pollen of *M. annulatus* is also abundant. Others palynomorphs from lowland freshwater forests are also

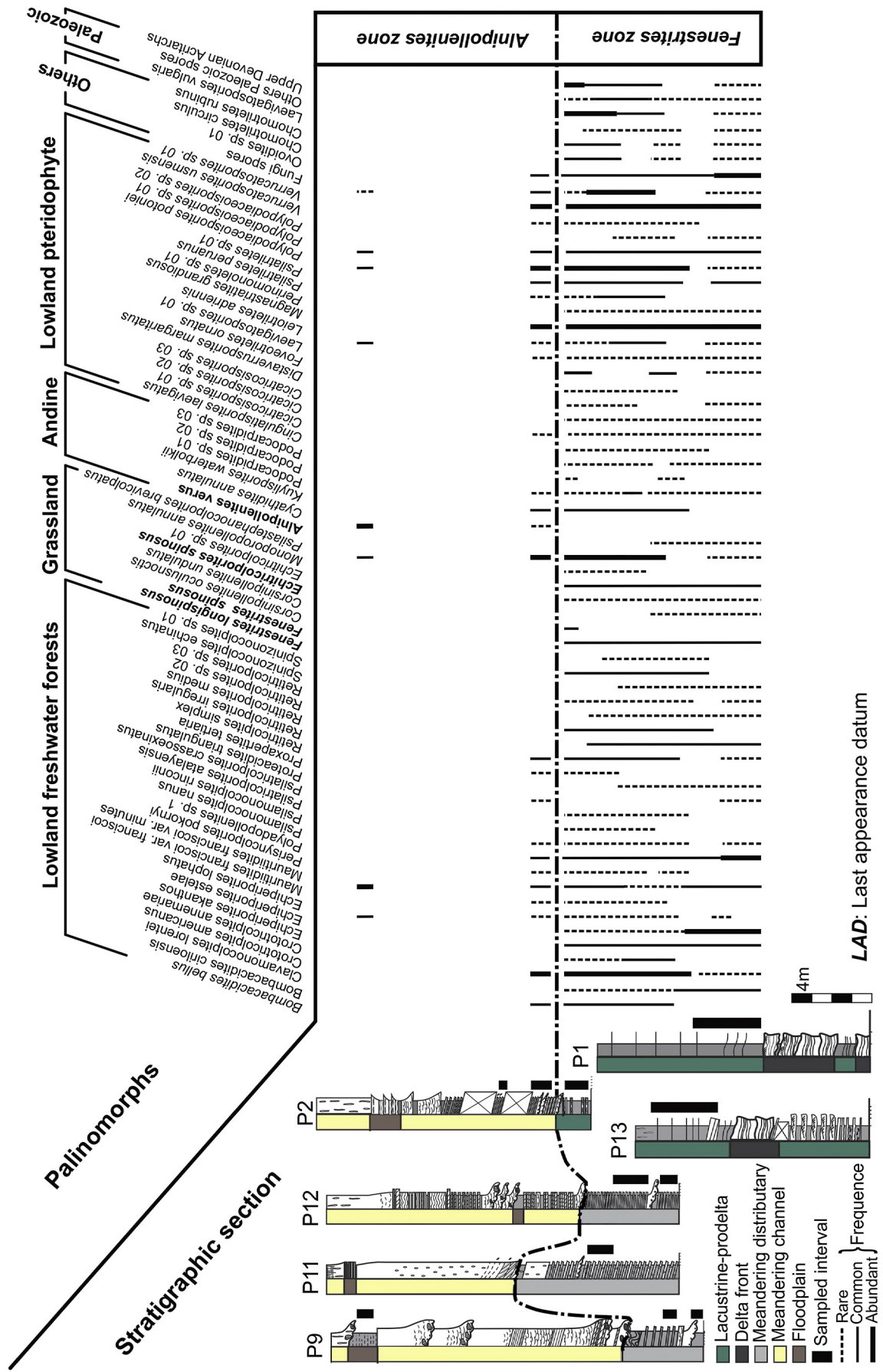


Fig. 3. Palynomorphs of Cenozoic succession of the eastern Solimões Basin.



Fig. 4. The Neogene succession in the Coari region, state of Amazonas: gray laminated mudstones of lacustrine–prodelta (FA1) of Solimões Formation showing iron oxides content (yellow color) close to the unconformity, covered by pinkish sandstones of Içá Formation. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

common in the FA4, such as *B. bellus*, *M. f. franciscoi*, *P. tertiaria* and *P. potonie* Montane forests pollen of *C. annulatus* can also be found with common frequency.

4.2.2. Facies association 5 (FA5) – floodplain

FA5 is marked by laminated mudstone (MI), locally interbedded with layers of even parallel stratified sandstone (Se). Coal and plants debris are rare in this association. FA5 is organized with the FA4 in fining upward cycles (Fig. 7a; Table 2).

The Içá Formation has a great contribution of the palm pollen from lowland forests of *M. f. franciscoi*. *Alnipollenites verus* Potonie, 1960, is also marked by a high frequency, and it is related to temperate montane forests. *Echiperiporites estelae* Germeraad et al., 1968, *P. potonie* and *M. annulatus* also occur with common frequency at this level (Fig. 3).

5. Discussion

5.1. Chronostratigraphy

The identification and timing of Neogene–Quaternary palynological biozonation of Amazon region is still extensively debated (e.g. Hoorn, 1993, 1994a, 1994b; Latrubesse et al., 2007, 2010; Jaramillo et al., 2010; Silva-Caminha et al., 2010). Nevertheless, palynostratigraphy remains as the basis for correlation across sedimentary basins and provides at least a rough stratigraphical framework (Gross et al., 2011).

Two palynological markers (*Crassoretitrites vanraadshoovenii* Germeraad et al., 1968; *Grimsdalea magnaclavata* Germeraad et al., 1968) of Middle and Middle/Upper Miocene are reliable to the Amazon biozonation, since they have high frequency in the first appearance datum (FAD) and complete existence interval. Regarding the Upper Miocene to Pliocene, palynomorphs grains presents low frequency in the associations of *E. spinosus*, *F. longispinosus*, *F. spinosus*, *Psilatricolporites caribbiensis* Muller et al., 1987, *Stephanocolpites evansii* Muller et al., 1987, *Pachydermites diderixii* Germeraad et al., 1968 and *Echitricolporites mcneillyi* Germeraad et al., 1968, mainly due to pollination syndrome comprising entomophilous pollen grains (Bush, 1995). Thus, as proposed by Silva-Caminha et al. (2010), others species must be used as Upper Miocene to Pliocene markers in the Amazon region.

These authors suggested that the association of *F. longispinosus* and *S. evansii* defines an Upper Miocene age, which correspond to the Lorente palynological zone of *Echitricolporites*, sub-zone of *P. caribbiensis*, dated as Upper Miocene to Lower Pliocene age (Lorente, 1986). The *P. caribbiensis* Interval Subzone of Lorente is defined at the base by the FAD of *P. caribbiensis* and at the top by the FAD of *E. mcneillyi*. In the present study, we identified relatively high concentrations of *F. longispinosus*, *F. spinosus* in association with *E. spinosus* and *B. ciriloensis*, which implying that the analyzed interval of the Solimões Formation belongs to Upper Miocene to Pliocene (Fig. 3). In addition, the presence of *B. bellus*, *E. akanthos* and *E. estelae*, *Psilatricolporites crassoexinatus* Hoorn, 1993 support this age interpretation (Van der Hammen and Wijmstra, 1964; Cookson and Cranwell, 1967; Germeraad et al., 1968; Stover and Partridge, 1973; Muller et al., 1987; Salard-Chebodaeff, 1990; Hoorn, 1993; Torres and Méon, 1993), in agreement with previous dating of the upper Solimões based on mammalian South America chronology (Latrubesse et al., 1997, 2007 and 2010).

The Içá Formation can be related to Pleistocene age based on the relatively high abundance of *A. verus* whose first appearance datum points to the base of the homonymous palynozone of Lorente (1986), as well as its co-occurrence with *P. tertiaria*, *M. annulatus*, *C. annulatus* and *V. usmensis*, which have their last appearance datum in 0.77 Ma, 0.10 Ma, 0.11 Ma and 0.08 Ma, respectively, restricting the ages of these deposits until the Upper Pleistocene following a chronostratigraphic control made by Jaramillo et al. (2011), which integrate palynofloristic analysis, data from foraminifera, carbon isotopes and magnetostratigraph for precise calibrations of palynozones of the North of South America.

5.2. Paleoenvironments and paleovegetation setting

As also observed by Silva-Caminha et al. (2010), this work did not find any signal of ephemeral marine incursion in the Upper Solimões Formation, which contradicts the transitional environments that were previously described (Hoorn, 1993; Räsänen et al., 1995; Hovikoski et al., 2007, 2010). Furthermore, the studied succession of the Solimões Formation is a fluvial–deltaic system, with fine-grained sediments of the lacustrine prodelta environment supplied by meandering distributaries and delta front environments. The lake and distributaries were bordered by extensive floodplains colonized by lowland freshwater forests under wet climate conditions. A progradation occurred in the proximal areas with distributary channels developing over the lacustrine prodelta environment, which can be related with the first signal of the development of a fluvial system.

These environments also harbored a very rich aquatic vertebrate fauna that included mega-sized gharials, caimanines, and side-neck turtles and freshwater fish (Riff et al., 2010; Lundberg et al., 2010), which eventually disappeared at ~7 Ma following the fully development of Amazon River (e.g. Wesselingh and Salo, 2006; Figueiredo et al., 2009) reaching the Atlantic coast. The relatively high contribution of Andine palynomorphs such as *C. annulatus*, *Kuyilsporites waterbolkii* and *Podocarpidites* sp. in this study confirms this peak of Andean mountain building during the Upper Miocene (Fig. 3). However, our data also suggest the persistence of the fluvial–deltaic and megawetland until, at least, the Pliocene. Additionally, well-preserved Middle to Upper Paleozoic spores of *L. vulgaris* and acritarchs of *Maranhites brasiliensis* Brito, 1965, *Maranhites insulates* Burjack and Oliveira, 1989, *Umbellasphaeridium* sp., *Multiplisphaeridium* sp. in the lacustrine prodelta and distributaries environments of the Solimões Formation suggest fast deposition and proximity to the source area, likely related with Paleozoic rocks of the Purus Arc region and western margin of the Amazonas Basin (Figs. 1 and 8). Therefore, the Purus Arc may has

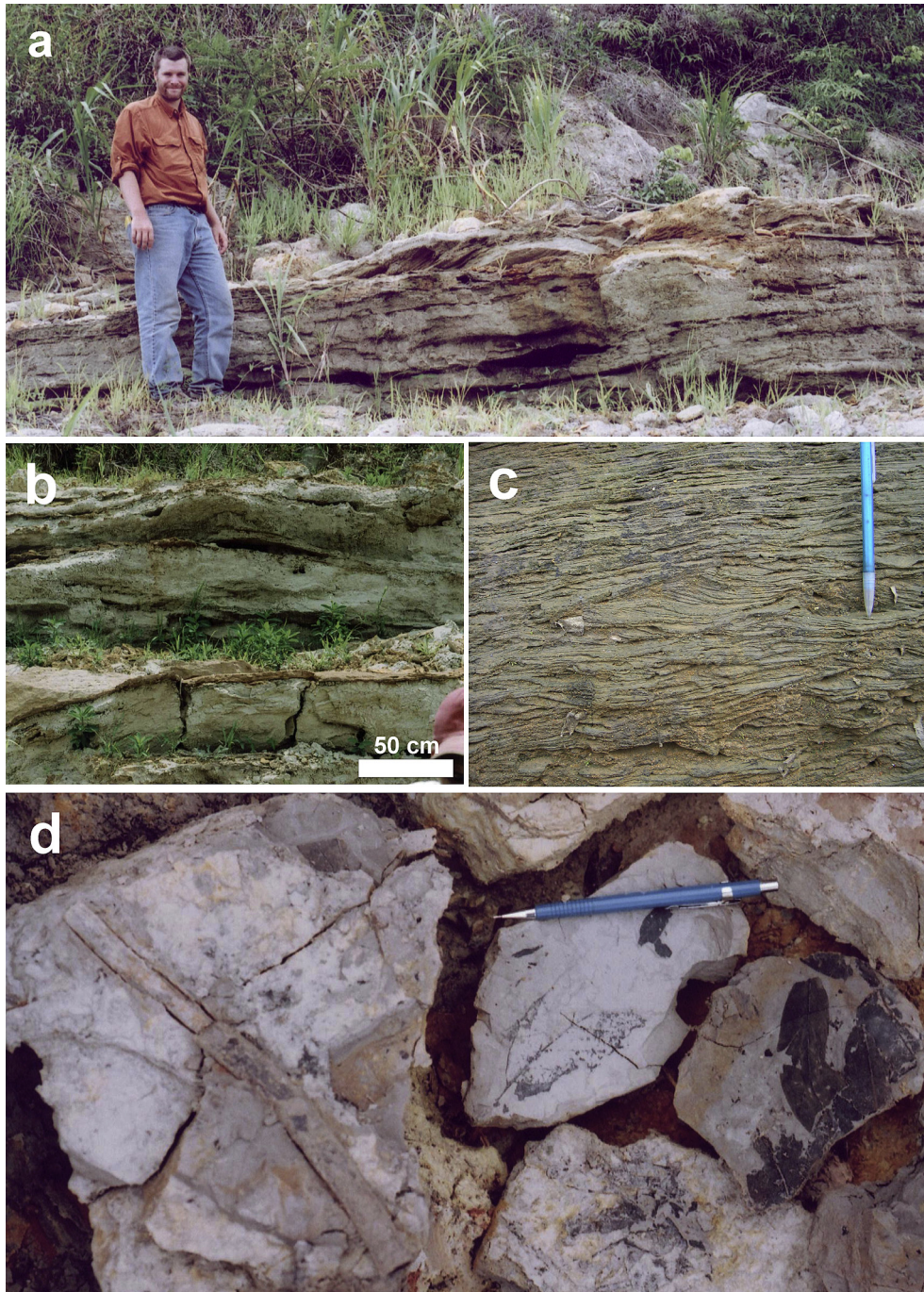


Fig. 5. Deltaic front deposits (FA2) in the Solimões Formation. a) sigmoidal cross bedded sandstone with lobate geometry in longitudinal and frontal view (b). c) Climbing ripple cross lamination in fine sandstone. d) Plant debris (trunks and leaves) in mudstones.

acted as a barrier to the development of a transcontinental drainage, capturing the influx of the Amazon River.

During the Pleistocene, the Içá Formation started to deposit unconformably on the Solimões Formation. This unit represents an expressive northeastward to eastward progradation of a meandering fluvial system. Floodplains were common along channel margins, but the high migration rates of the meandering channels continuously eroded the floodplain, which formed thinner muddy deposits. These floodplains were colonized by few palm species and pteridophytes of lowland freshwater forests without fungi and algae during the Pleistocene, likely related to drier conditions and/or different morphological conditions than

observed to the Solimões Formation. The installation of this drainage generates a wide-range of unconformity during the Pliocene/Pleistocene upon the top of the Solimões Formation.

5.3. The role of the Purus arc in the central Amazonia

Middle/Upper Paleozoic palynomorphs in Miocene beds of Amazonia have been interpreted as supplied from the Andes (Campbell and Frailey, 1984; Latrubesse, 1992; Hoorn, 1993; Hoorn et al., 1995). However, the excellent degree of preservation of these palynomorphs in the Eastern Solimões Basin suggests proximity to the source area raising doubts about an Andean origin. The most

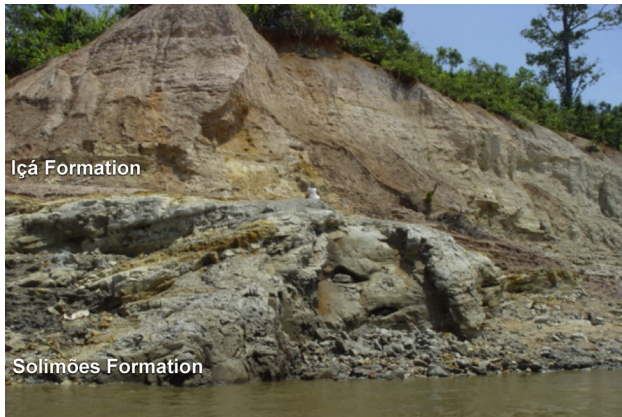


Fig. 6. Unconformity between the Solimões and Içá Formations in the outcrop 12; note the dip of the bedding (heterolithic inclined stratification of the FA3) forming an apparent angular discordance.

likely source is the northwestern border of the Amazonas Basin, which belongs to the Purus Arc zone (Figs. 1 and 8). The Paleozoic rocks exposed there containing a diversified palynoflora whose age is not older than Lochkovian, the base of the Devonian period (Steeman et al., 2008). During the Upper Cretaceous and Cenozoic, Upper Paleozoic rocks of the northwestern border of the Amazonas Basin were completely eroded (Nogueira and Sarges, 2001; Souza and Nogueira, 2009; Sarges et al., 2009), and Upper Devonian acritarchs and Upper Carboniferous spores of these rocks were transported into the Solimões Basin where they are part of the lacustrine deposits of the upper Solimões Formation. This may be evidence that a drainage system from the uplifted Purus Arc was oriented westwards toward the Solimões Basin during the Upper Miocene.

The tectonic Cenozoic history of Purus Arc is defended by several evidences. The Upper Cretaceous to Paleogene Alter do Chão Formation is exposed in the Amazon Basin (Fig. 1), while in the Solimões Basin this unit is only found at 600 m below of the

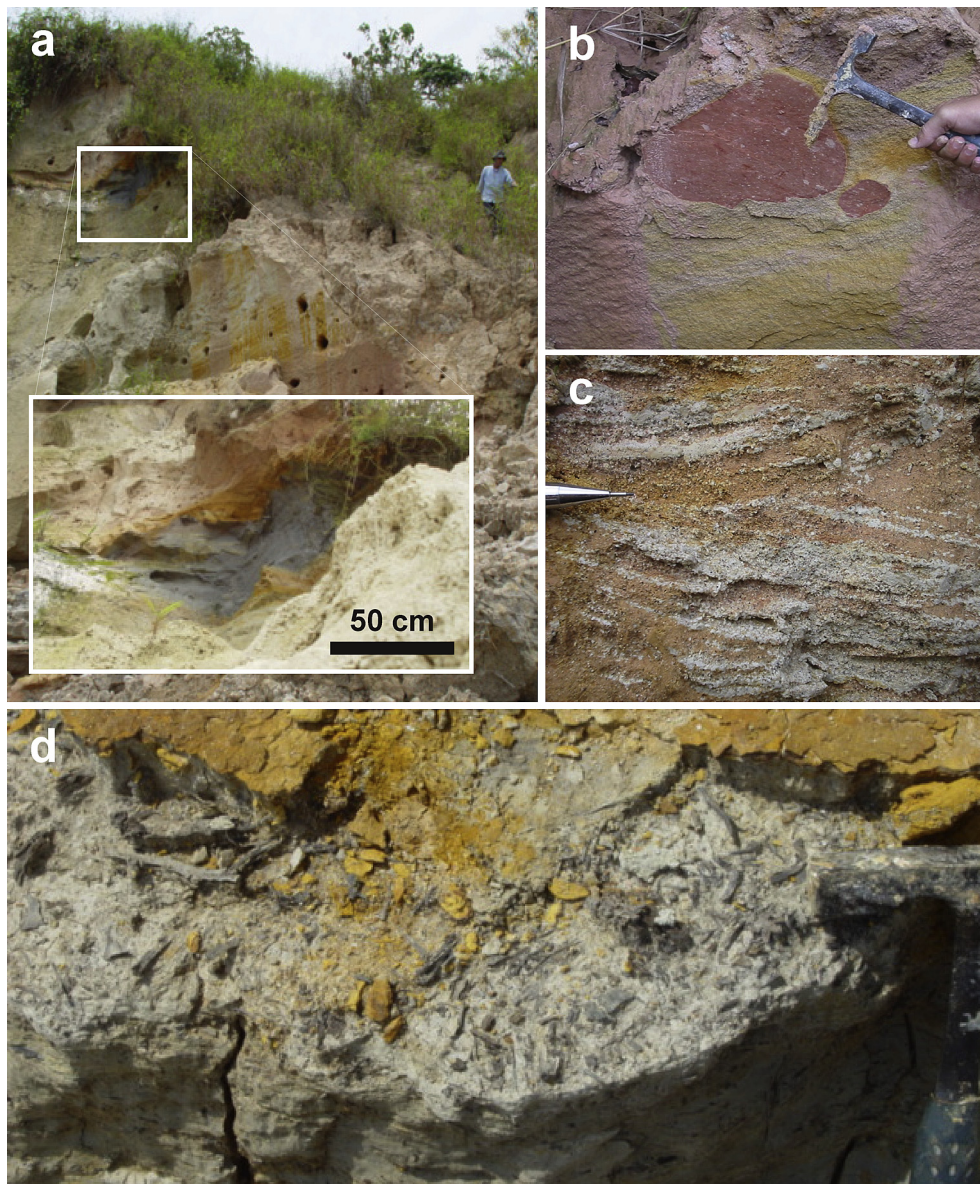


Fig. 7. Meandering channel deposits (FA4) of Içá Formation. a) Fining upward succession with the top marked by gray mudstones. b) Mudstones rounded clast at the base of the fluvial channel. c) Trough cross-bedded sandstone marked by mudstones clasts (white color). d) Abundant of wood fragments in sandstone layer in the heterolithic beds around the point bar deposits.

Solimões Formation (Caputo et al., 1972), suggesting an important Neogene subsidence. The fact that the Solimões Formation does not cross the Purus Arc (Vaz et al., 2007), which is another evidence for uplift of this region during the Miocene and Pliocene. Moreover, different facies of Miocene deposits on both sides of the arc support this interpretation. While fluvial–deltaic deposits characterize the upper Solimões Formation west of Purus Arc, the fluvial Miocene Novo Remanso Formation occurs east of the arc, in the Amazonas Basin (see Rozo et al., 2005). Thus, the Purus Arc in the central Amazonia during Upper Miocene and Pliocene played the role as a geographic barrier between the Solimões and Amazonas basins. The unconformity on the top of the Solimões Formation, observed along hundreds of kilometers, implies that the central-eastern Solimões Basin and the Purus Arc underwent an uplift and erosion which could have lasted from the Upper Miocene until the Pliocene (Fig. 8). The Cenozoic barrier of the Purus Arc has been confirmed by genetic and paleogeographic data of ancestral distribution of *Psophia*, a trumpeter bird, restricted to the eastern

Amazonia during Pliocene (Ribas et al., 2011). During the Pleistocene, this arc underwent subsidence and led to the deposition of the Içá Formation (Fig. 8). Pleistocene fluvial deposits, which correlate with the Içá Formation, are found in the Amazonas Basin (Soares et al., 2010) and a point that connect between the two basins. Thus, we consider that this event represents the first stage of the evolution of the transcontinental drainage of the Amazon River breaching the Purus Arc.

6. Conclusions

The Upper Miocene to Pliocene Solimões Formation is related to a fluvial–deltaic system with fine-grained sediments of the lacustrine–prodelta supplied by meandering distributaries and delta front environments. The lake and distributaries were bordered by extensive deltaic and floodplains colonized by lowland freshwater forests under wet climate conditions, persisting until the Pliocene. The Içá Formation started to lie unconformably on the Solimões Formation during the Pleistocene, following the development of a meandering fluvial system, linked to the present eastward direction of the Amazon River breaching the Purus Arc. These floodplains were colonized by few palm species and pteridophytes of lowland freshwater forests during the Pleistocene. Additionally, no algae and fungi were identified, which may be related to drier conditions and/or different morphological characteristics than observed in the Upper Solimões Formation. Therefore, the Purus Arc in the central Amazonia during Upper Miocene and Pliocene may have acted as a geographic barrier between the Solimões and Amazonas basins.

Acknowledgments

Funding for this research was provided by Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq; Grant 554059/2006-1 to A.C.R. Nogueira) and Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP; Grant 2012/50260-6 to Lucia Lohmann). We thank Mitsuro Arai and José Henrique Mello (CENPES/PETROBRAS) for assistance in the identification of palynomorphs. Werner Truckenbrodt (UFPA), Paulo Alves (UFRGS), Ricardo Maizatto (CENPES/PETROBRAS) and Russ Mapes (ExxonMobil Exploration Company) for their valuable comments and suggestions, which greatly improved the manuscript. Roberto Barbosa (UFPA) is thanked for his assistance in drafting some figures.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data related to this article can be found at <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2013.05.004>.

References

- Abinader, H.D., Nogueira, A.C.R., Mapes, R.W., Coleman, D.S., 2007. Estratigrafia de Depósitos Cenozóicos da porção Centro-Oeste da Bacia do Amazonas. In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – XI ABEQUA, Belém, Brasil, vol. 11. Resumos Expandidos.
- Barbosa, R.C.M., Nogueira, A.C.R., 2011. Paleoambiente da Formação Prosperança, embasamento neoproterozóico da Bacia do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências* 41, 1–17.
- Bush, M.B., 1995. Neotropical plant reproductive strategies and fossil pollen representation. *American Naturalist* 145, 594–609.
- Bush, M.B., Weng, M.B., 2006. Introducing a new (freeware) tool for palynology. *Journal of Biogeography* 34, 377–380.
- Campbell Jr., K.E., Frailey, C.D., 1984. Holocene flooding and species diversity in southwestern Amazonia. *Quaternary Research* 21, 369–375.
- Campbell, A.E., 1992. Carbonate and Siliciclastic Shelf Geometry in Response to Changes in Relative Sea Level in the Guyana Basin. Ph.D. thesis. In: Unconformities in Seismic Records and Outcrop. University of Amsterdam.
- Caputo, M.V., Rodrigues, R., Vasconcelos, D.N.N., 1972. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Rio Amazonas. In: 26° Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, vol. 3. SBC, Belém, pp. 35–46.

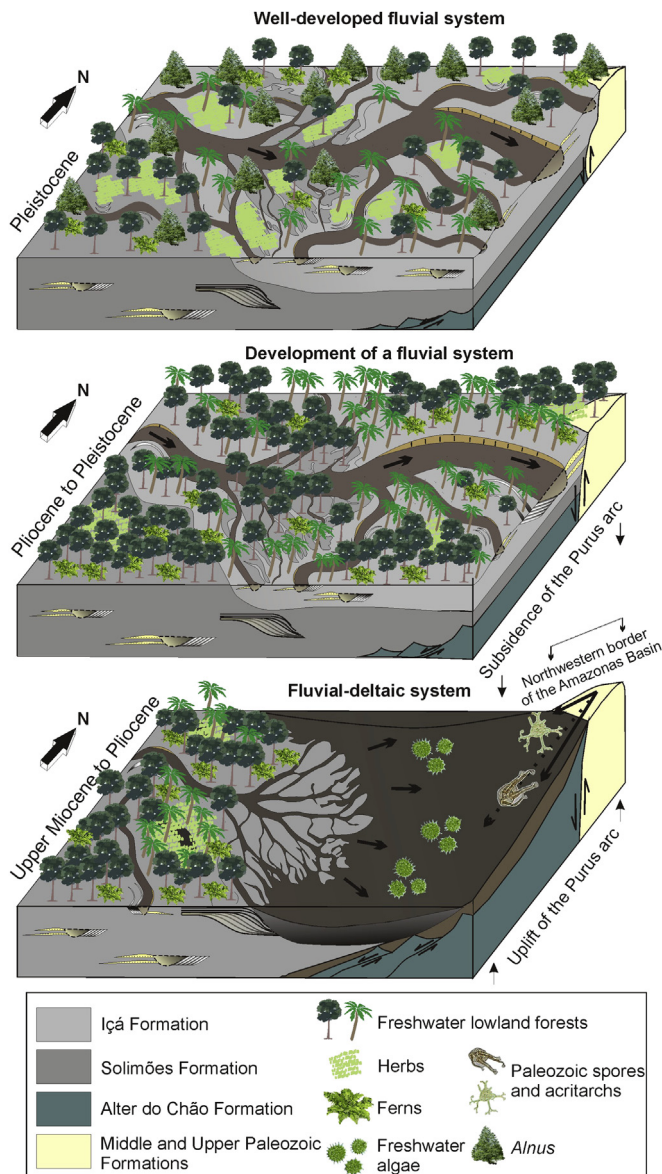


Fig. 8. Schematic representation of sedimentary environments and vegetation changes of the Solimões and Içá Formations during the Upper Miocene until the Pleistocene.

- Colinvaux, P.A., De Oliveira, P.E., Patiño, J.E.M., 1999. Amazon Pollen Manual and Atlas – Manual e Atlas Palinológico da Amazônia. *Hardwood, Amsterdam*, p. 332.
- Cookson, I.C., Cranwell, L.M., 1967. Lower tertiary microplankton, spores and pollen grains from southernmost Chile. *Micropaleontology* 13, 204–216.
- Cordani, U.G., Neves, B.B.B., Fuck, H.A., 1984. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. In: *Ciência, Técnica, Petróleo*, vol. 15. Petrobrás, Rio de Janeiro.
- Cunha, P.R.C., Gonzaga, F.G., Coutinho, L.F.C., Feijó, F.J., 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 8, 47–55.
- Dino, R., Silva, O.B., Abrahão, D., 1999. Palynological and stratigraphic characterization of the Cretaceous strata from the Alter do Chão Formation, Amazonas Basin. In: *Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e Simpósio sobre el Cretáceo de América del Sur 5*, Serra Negra, pp. 557–565.
- Dino, R., Soares, E.A.A., Antonoli, L., Riccomini, C., Nogueira, A.C.R., 2012. Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 34, 61–80.
- Dueñas, H., 1980. Palynology of Oligocene–Miocene strata of borehole Q-E-22, Planeta Rica, Northern Colombia. *Review of Palaeobotany and Palynology* 10, 318–328.
- Figueiredo, J., Hoorn, C., van der Ven, P., Soares, E., 2009. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas Basin. *Geology* 37, 619–622.
- Frederiksen, N.O., 1983. Middle Eocene palynomorphs from San Diego, California, part II, angiosperm pollen and miscellaneous. *AASP Contributions Series* 12, 32–155.
- Germeraad, J.H., Hopping, C.A., Muller, J., 1968. Palynology of Tertiary sediments from tropical areas. *Review of Palaeobotany and Palynology* 6, 189–348.
- González-Guzmán, A.E., 1967. A Palynological Study on the Upper Los Cuervos and Mirador Formations. E.J. Brill, Leiden, pp. 1–68.
- Gross, M., Piller, W.E., Ramos, M.L., Silva Paz, J.D., 2011. Late Miocene sedimentary environments in south-western Amazonia (Solimões Formation; Brazil). *Journal of South American Earth Sciences* 32, 169–181.
- Hesse, M., Halbritter, H., Zetter, R., Weber, M., Buchner, R., Frosch-Radivo, A., Ulrich, S., 2008. *Pollen Terminology: an Illustrated Handbook*. Springer, New York, p. 264.
- Hoorn, C., 1990. Evolution de los ambientes sedimentarios durante el Terciario y el Cuaternario en la Amazonia Colombiana. *Colombia Amazonica* 4, 97–126.
- Hoorn, C., 1991. Nota geológica: La formación Pebas (“Terciario Inferior Amazónico”): depósitos fluvio-lacustres del Mioceno Medio a Superior. *Colombia Amazonica* 5, 119–130.
- Hoorn, C., 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 105, 267–309.
- Hoorn, C., 1994a. An environmental reconstruction of the palaeo-Amazon River system (Middle–Late Miocene, NW Amazonia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 112, 187–238.
- Hoorn, C., 1994b. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonas Basin (Early Miocene–early Middle Miocene, Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109, 154.
- Hoorn, C., Guerrero, J., Sarmiento, G.A., Lorente, M.A., 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America. *Geology* 23, 237–240.
- Hoorn, C., Wesselingh, F.P., Ter Steege, H., Bermudez, M.A., Mora, A., Sevink, J., Sanmartín, I., Sanchez-Meseguer, A., Anderson, C.L., Figueiredo, J.P., Jaramillo, C., Riff, D., Negri, F.R., Hooghiemstra, H., Lundberg, J., Stadler, T., Särkinen, T., Antonelli, A., 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science* 330, 927–931.
- Hovikoski, J., Gingras, M., Räsänen, M., Rebata, L.A., Guerrero, J., Ranzi, A., Melo, J., Romero, L., Nuñez del Prado, H., Jaimes, F., Lopez, S., 2007. The nature of Miocene Amazonian epicontinental embayment: high-frequency shifts of the low-gradient coastline. *Geological Society of America Bulletin* 119, 1506–1520.
- Hovikoski, J., Wesselingh, F.P., Räsänen, M., Gingras, M., Vonhof, H.B., 2010. Marine influence in Amazonia: evidence from the geological record. In: Hoorn, C., Wesselingh, F.P. (Eds.), *Amazonia-Landscape and Species Evolution: a Look into the Past*. Wiley-Blackwell, Chichester, pp. 9–28.
- Iversen, J., Troels-Smith, J., 1950. *Pollenmorphologische Definitionen und Typen*. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie 43, 1–54.
- Jaramillo, C.A., Dilcher, D.L., 2001. Middle Paleogene palynology of Central Colombia, South America: a study of pollen and spores from tropical latitudes. *Palaeontographica* 258, 87–213.
- Jaramillo, C., Hoorn, C., Silva, S.A.F., Leite, F., Herrera, F., Quiroz, L., Dino, R., Antonoli, L., 2010. The origin of the modern Amazon rainforest: implications of the palynological and palaeobotanical record. In: Hoorn, C., Wesselingh, F.P. (Eds.), *Amazonia, Landscape and Species Evolution: a Look into the Past*. Wiley-Blackwell, Oxford, pp. 317–334.
- Jaramillo, C., Rueda, M., Torres, V., 2011. A palynological zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills of Colombia. *Palynology* 35, 46–84.
- Kedves, M., 1961. Etudes palynologiques dans le basin de Dorog. II. *Pollen et Spores* 3, 101–153.
- Krutzsch, W., 1959. Einige neue Formgattungen und –arten von Sporen und Pollen aus der mitteleuropäischen Oberkreide und dem Tertiär. *Palaeontographica* 105, 125–157.
- Latrubesse, E., 1992. El cuaternario fluvial de la cuenca del Purus en el estado de Acre, Brasil. Ph.D. thesis. Universidad Nacional de San Luis, Argentina, p. 214.
- Latrubesse, E.M., Bocquentin, J., Santos, C.R., Ramonell, C.G., 1997. Paleoenvironmental model for the late Cenozoic southwestern Amazonia paleontology and geology. *Acta Amazonica* 27, 103–118.
- Latrubesse, E.M., da Silva, S.A.F., Cozzuol, M., Absy, M.L., 2007. Late Miocene continental sedimentation in southwestern Amazonia and its regional significance: biotic and geological evidence. *Journal of South American Earth Sciences* 23, 62–80.
- Latrubesse, E.M., Cozzuol, M., da Silva-Caminha, S.A.F., Riggsby, C.A., Absy, M.L., Jaramillo, C., 2010. The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. *Earth Science Reviews* 99, 99–124.
- Leidelmeyer, P., 1966. The Paleogene and Lower Eocene pollen flora of Guyana. *Leidse Geologische Mededelingen* 38, 49–70.
- Linhares, A.P., Feijó Ramos, M.L., Gross, M., Piller, W.E., 2011. Evidence for marine influx during the Miocene in southwestern Amazonia, Brasil. *Geologia Colombiana* 36, 91–103.
- Lorente, M.A., 1986. *Palynology and Palynofacies of the Upper Tertiary in Venezuela*. Dissertation Botanicae, Band 99. J. Cremer, Berlin-Stuttgart, p. 222.
- Lundberg, J., Sabaj, M., Dahdul, W.M., Aguilera, O., 2010. The Amazonian Neogene fish fauna. In: Hoorn, C., Vonhof, H., Wesselingh, F. (Eds.), *Amazonia, Landscape and Species Evolution: a Look at the Past*. Wiley-Blackwell, pp. 281–301.
- Maia, R.G., Godoy, H.K., Yamaguti, H.S., Moura, P.A., Costa, F.S., 1977. Projeto carvão no Alto Amazonas. Final report. CPRM, Rio de Janeiro.
- Mapes, R.W., Nogueira, A.C.R., Coleman, D.S., Vega, A.M.L., 2006. Evidence for a continental scale drainage inversion in the Amazon Basin since the Late Cretaceous. *Geological Society of America Abstract with Program* 38 (7), 518.
- Miall, A.D., 1978. Facies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: Miall, A.D. (Ed.), *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, pp. 597–604.
- Muller, J., 1968. Palynology of the Pedawan and Plateau sandstone formations (Cretaceous–Eocene) in Sarawak, Malaysia. *Micropaleontology* 14 (1), 1–37.
- Muller, J., Giacomo, E., Van Erve, A.W., 1987. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contribution Series* 19, 7–76.
- Nogueira, A.C.R., Sarges, R.R., 2001. Characterization and genesis of waterfalls of the Presidente Figueiredo region, Northeast State of Amazonas, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 73, 287–301.
- Nuttall, C.P., 1990. A review of the Tertiary non-marine molluscan faunas of the Pebasian and other inland basins of north-western South America. *Bulletin of the British Museum (Natural History) (Geology)* 45, 165–371.
- Potonié, R., 1956. Synopsis der Gattungen der spora dispersae. I Teil: Sporites. *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch* 23, 1–103.
- Potonié, R., Kremp, G., 1956. Die spora dispersae der Ruhrkarbons, Ihre morphographie und stratigraphie mit Ausblicken auf Arten anderer Gebiete und Zeitabschnitte Teil III. *Palaeontographica Abteilung B: Palaeobotany – Palaeophytology* 100, 85–191.
- Potonié, R., 1960. Synopsis der Gattungen der Spora dispersae, I-3. *Geologisches Jahrbuch Beihefte* 39, 1–189.
- Punt, W., Hoen, P.P., Blackmore, S., Nilsson, S., Le Thomas, A., 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143, 1–81.
- Räsänen, M.E., Linna, A.M., Santos, C.R., Negri, F.R., 1995. Late Miocene tidal deposits in the Amazonian foreland basin. *Science* 269, 386–390.
- Ribas, C.C., Aleixo, A., Nogueira, A.C.R., Miyaki, C.Y., Cracraft, J., 2011. A palaeobiogeographic model for biotic diversification within Amazonia over the past three million years. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences* 279, 681–689.
- Riff, D., Romano, P.S.R., Oliveira, G.R., Aguilera, O.A., 2010. Neogene crocodile and turtle fauna in northern South America. In: Hoorn, C., Wesselingh, F. (Eds.), *Amazonia, Landscape and Species Evolution: a Look into the Past*. Blackwell, pp. 259–280.
- Rozo, J.M.G., Nogueira, A.C.R., Horbe, A.M.C., Carvalho, A.S., 2005. Depósitos Neógenos da Bacia do Amazonas. In: Horbe, A.M.C., Souza, V.S. (Eds.), *Contribuições a Geologia da Amazônia, Manaus*, vol. 4, pp. 201–207.
- Rossetti, D.F., Toledo, P.M., Góes, A.M., 2005. New geological framework for the western Amazonia: implications for biogeography and evolution-reply. *Quaternary Research* 64, 280–282.
- Roubik, D.W., Moreno, J.E., 1991. *Pollen and Spores of Barro Colorado Island*. Missouri Botanical Garden, p. 268.
- Salard-Cheboldaef, M., 1990. Intertropical African palynostratigraphy from Cretaceous to Late Quaternary times. *Journal of African Earth Sciences* 11 (1–2), 1–24.
- Sarges, R.R., Nogueira, A.C.R., Riccomini, C., 2009. Sedimentação coluvial pleistocênica na região de Presidente Figueiredo, nordeste do estado do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências* 39, 350–359.
- Silva, S.A.F., 1998. *Palinologia do Neógeno da Amazônia sul ocidental*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Brasil.
- Silva-Caminha, S.A.F., Jaramillo, C.A., Absy, M.L., 2010. Neogene palynology of the Solimões Basin, Brazilian Amazonia. *Palaeontographica Abteilung B: Palaeobotany – Palaeophytology* 283, 1–67.
- Soares, E.A.A., Tatum, S.H., Riccomini, C., 2010. OSL age determinations of Pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 82, 1–9.
- Souza, V. da S., Nogueira, A.C.R., 2009. Seção geológica Manaus – Presidente Figueiredo (AM), borda norte da Bacia do Amazonas: um guia para excursão de campo. *Revista Brasileira de Geociências* 39, 16–29.
- Steeman, P., Rubinstein, C., Melo, J.H. de, 2008. Siluro-Devonian miospore biostratigraphy of the Urubu River area, western Amazon Basin, northern Brazil. *Geobios* 41, 263–282.

- Stover, L.E., Partridge, A.D., 1973. Tertiary and Late Cretaceous spores and pollen from the Gippsland Basin, southeastern Australia. *Proceedings of the Royal Society of Victoria* 85, 237–286.
- Torres, T.G., Méon, H., 1993. Lophosoria from Tertiary of King George Island and central Chile: origin and dispersion in the Southern hemisphere. *Instituto Antartico Chileno Serie Científica* 43, 18–30.
- Traverse, A., 2008. *Paleopalynology*, second ed. Springer, Dordrecht, p. 813.
- Uesugui, N., 1979. Palynologia: técnicas de tratamento de amostras. *Boletim Técnico Petrobrás* 22, 229–240.
- Van der Hammen, T., 1956a. Description of some genera and species of fossil pollen and spores. *Boletín Geológico* 4, 103–109.
- Van der Hammen, T., 1956b. A palynological systematic nomenclature. *Boletín Geológico* 4, 63–101.
- Van der Hammen, T., Wilmstra, T.A., 1964. A palynological study on the Tertiary and Upper Cretaceous of British Guayana. *Leidse Geologische Mededelingen* 30, 183–241.
- Van Hoeken-Klinkenberg, P.M.J., 1964. A palynological investigation of some Upper Cretaceous sediments in Nigeria. *Pollen et Spores* 6, 209–231.
- Vaz, P.T., Wanderley-Filho, J.R., Bueno, G.V., 2007. Bacia do Takutu. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 15, 289–297.
- Vega, A.M.L., 2006. Reconstituição paleoambiental dos depósitos miocênos da região do Rio Purus, Bacia do Solimões (AM). Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Amazonas.
- Vega, A.M.L., Nogueira, A.C.R., Mapes, R.W., 2007. Delta-Lacustre da e Mioceno da Parte Leste da Bacia do Solimões: Implicações na História do Rio Amazonas. In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – XI ABEQUA, Belém, Brasil.
- Walker, R.G., 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: Walker, R.G., James, N.P. (Eds.), *Facies Models – Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada, Ontario, pp. 1–14.
- Wanderley-Filho, J.R., Eiras, J.F., Cunha, P.R.C., Van der Vem, P.H., 2010. The Paleozoic Solimões and Amazonas basins and the Acre foreland basin of Brazil. In: Hoorn, C., Wesselingh, F.P. (Eds.), *Amazonia-Landscape and Species Evolution: a Look into the Past*. Wiley-Blackwell, Chichester, pp. 9–28.
- Wesselingh, F.P., Salo, J., 2006. A Miocene perspective on the evolution of Amazonian biota. *Scripta Geologica* 133, 439–445.

Anexo 5. Artigo Publicado

Guimarães, J.T.F; Nogueira, A.C.R.; da Silva Junior, J.B.C.; Soares, J.L. & Silveira, R.R. &. 2013. Fossil Fungi from Miocene Sedimentary Rocks of the Central and Coastal Amazon Region, North Brazil. *Journal of Paleontology*, 87(3):484-492.



FOSSIL FUNGI FROM MIOCENE SEDIMENTARY ROCKS OF THE CENTRAL AND COASTAL AMAZON REGION, NORTH BRAZIL

JOSÉ TASSO FELIX GUIMARÃES,¹ AFONSO CÉSAR RODRIGUES NOGUEIRA,² JOSÉ BANDEIRA CAVALCANTE DA SILVA JR.,³ JOELSON LIMA SOARES,³ AND ROSEMERY SILVEIRA⁴

¹Instituto Tecnológico Vale–ITV, Rua Boa Ventura da Silva 955, 3° andar, Nazaré, Belém, Pará, 66055–090, Brazil, <tasso.guimaraes@vale.com>;
²Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa 1, Guamá, Belém, Pará, 66075–110, Brazil, <anogueira@ufpa.br>;
³Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa 1, Guamá, Belém, Pará, 69077–000, Brazil, <jbandeira@ufpa.br>; <jlsoares@ufpa.br>;
⁴Universidade Federal do Amazonas, Av. General Rodrigo O. J. Ramos, 3000, Coroado, 69077–000, Manaus-AM, Brazil, <rsilveira@ufam.edu.br>

ABSTRACT—Samples from outcrops of the Miocene Solimões and Barreiras formations from the central and coastal Amazon regions of Brazil were analyzed palynologically. Assemblages of fossil fungi were identified, and are described herein, and their relevance to paleoenvironmental and paleoclimatic studies in tropical regions discussed. The fungal assemblage comprises four spore groups, 19 species belonging to 12 genera. Additionally, two new species are proposed. The samples from the Solimões Formation contain the following taxa: *Mediaverrunites elsikii*, *Mediaverrunites mulleri*, *Monoporisorites* sp., *Fusiformisorites crabbii*, and *Multicellites cingulatus*. The presence of these suggests river channel margins colonized by freshwater vegetation, where seasonal fluctuations of water table and rainfall produce wetter substrates. The samples from the Barreiras Formation showed higher species and generic diversity than those from the Solimões Formation with *Hypoxytonites minutus*, *Hypoxytonsporites ater*, *Hypoxytonites* sp., the new species *Inapertisorites multiporus* n. sp., *Pluricellaesporites regularis*, *Lacrimasporonites levis*, *Monoporisorites annulatus*, *Spirotremesporites simplex*, *Dyadosporites novus*, *Dyadosporites* sp., and *Multicellaesporites attenuates*. All of these correspond to parasitic fungi from a range of from tropical wetlands. *Spegazzinites* sp. and *Dicellaesporites aculeolatus*, good indicators of marine influence and mangrove presence, were also identified in the samples from the Barreiras Formation. Furthermore, the fungal spore taxa *Inapertisorites multiporus*, *Mediaverrunites elsikii*, *Mediaverrunites mulleri*, *Pluricellaesporites regularis*, and *Spirotremesporites simplex* serve as stratigraphic indicators when combined with miospore index taxa such as *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Grimsdalea magnaclavata* and *Fenestrites longispinosus* indicating a Miocene age for these sediments in the Amazon region.

INTRODUCTION

THE DISTRIBUTION of fossil fungi has been used in interpreting paleoenvironmental changes throughout the geological record (e.g., Martínez–Hernández and Tomasini–Ortiz, 1989; Kumar, 1990; Kalgutkar, 1997; Vajda and McLoughlin, 2004), as paleogeographical indicators (Elsik, 1976; Tripathi, 2001), and climatic oscillations (Carvalho, 2003; Freitas and Carvalho, 2011). It also provide insights into the broad range of depositional environments from both the continental and marine realms (e.g., Freitas, 2005; Kar et al., 2010), the nature of the substrates and the host plants upon which the fungi flourished (Lange, 1978; Lange and Smith, 1971), the feeding habits of the animals (Sharma et al., 2005), and the stratigraphic correlation of rock units, particularly where other biostratigraphic marker fossils are rare or absent (e.g., Soomro et al., 2010; Kar et al., 2010).

In recent decades the biostratigraphic study of fossil fungi has been little pursued by paleobotanists and palynologists, since affinities to modern genera were not truly known. Furthermore, some scientists believed that the history of fungi is not marked by change and extinctions but by conservatism and continuity, rendering them not useful for stratigraphic purposes but only as environmental indicators (Pirozynski, 1976). However, many distinctive fungal spores have actually shown affinities with modern genera (Kalgutkar and Sigler, 1995; Kalgutkar and Jansonius, 2000), but not with modern morphologies, which suggests rapid evolution of fungi coupled with ontogenetic and morphological changes, and extinction of species due to

ecological, edaphic, and biotic changes affecting their substrata (Kalgutkar and Sigler, 1995). These produce some doubts about the temporal range of fungal taxa, which only can be addressed by the increase of fossil fungi studies.

As described above, many studies have been performed on fungi from the perspective of their paleoenvironmental and paleoclimatic conditions. At the same time, broad-spectrum palynological analyses carried out in the Amazon region are helping to unlock the origin and evolution of the Amazon forest and the climatic changes during the Paleogene–Neogene, though, surprisingly, such studies have not considered the value of fungi in understanding sedimentary successions (e.g., Hoorn, 1993; Hoorn, 1994; Silva–Caminha et al., 2010; Jaramillo et al., 2010; Hoorn et al., 2010; Latrubesse et al., 2010). Therefore, the objective of the present work is to present the first detailed description of fossil fungi from the Miocene Solimões and Barreiras formations, central and coastal Amazon regions of Brazil, and its relevance to paleoenvironmental and paleoclimatic studies in tropical regions.

STUDY AREAS

The samples were collected from two areas in Brazil located 1700 km apart, the first located in the city of Coari, State of Amazonas and the second in the city of Belém, State of Pará (Fig. 1.1). In these areas the exposures studied are of the same Miocene age, the Solimões Formation, in Coari, and the Barreiras Formation in Belém (Vega et al., 2006; Leite et al., 1997). Samples were collected from two outcrops of the Solimões Formation, on the margins of the Solimões River

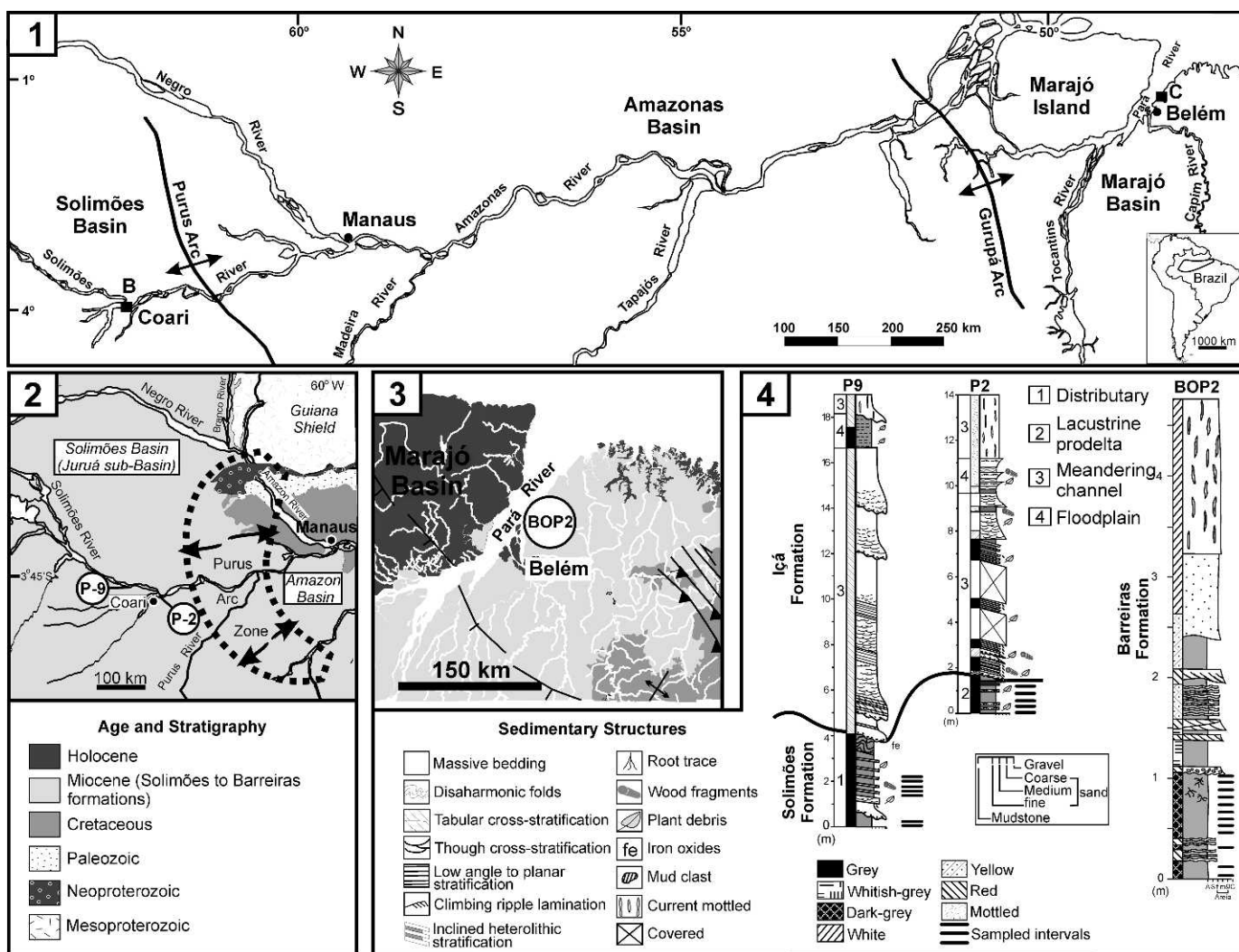


Figure 1—Study site. 1, sedimentary basins of the Amazon region and location of the sampling sites; 2, 3, regional geology with detail of the outcrop sites; 4, graphic sedimentary logs of outcrops from the Solimões (P9 and P2) and Barreiras formations (BOP2).

(Fig. 1.2), near the city of Coari, and one outcrop of the Barreiras Formation, on the margins of the Pará River (Fig. 1.3), city of Belém. The exposure of Solimões Formation is situated below the Pliocene/Pleistocene Içá Formation (Fig. 1.4), and mainly consists of gray mudstone around 2–4 m thick deposited in distributary channels and prodeltaic sediments of a lacustrine fluvial system (Vega, 2006; Vega et al., 2006). The exposure of Barreiras Formation is mainly composed of a dark gray mudstone in the basal part of the succession and yellow mudstone to white sandstone in the top of the succession (Fig. 1.4), which were deposited in a tidal flat and fluvial system, respectively.

MATERIALS AND METHODS

Twelve samples were collected from the gray mudstone from the top of the Solimões Formation, near the contact with Içá Formation. Another twelve samples were also collected from the dark gray mudstone of the Barreiras Formation (Fig. 1.4). Based on the methods outlined by Uesugui (1979), 30 g of sample were dried, triturated and treated with hydrochloric and hydrofluoric acid for carbonate and silicate removal respectively, sieved through a 10 µm mesh, and mounting on glass slides with Entellan medium. The palynomorphs in the slides were identified

and England Finder References were noted. The slides and macerated residues are deposited at the repository of the Laboratório de Sedimentologia e Palinologia of Universidade Federal do Pará, Brazil. Identification and classification of fossil fungi were based on Elsik (1968), Sheffy and Dilcher (1971), Elsik and Jansonius (1974), Salujha et al. (1974), Dueñas-Jimenez (1979), Salard-Chebaldoeff and Locquin (1980), Elsik (1990), Kalgutkar and Sigler (1995), Jansonius and Kalgutkar (2000), and Kalgutkar and Jansonius (2000).

SYSTEMATIC PALEONTOLOGY
Group AMEROSPORAE
Genus HYPOXYLONITES Elsik, 1990

Type species.—*Hypoxylonites brazosensis* Elsik (1990).

HYPOXYLONSPORITES ATER Kumar 1990
Figure 2.1

Description.—Monocellate, aseptate, elliptical contour; aperturate, aperture reaches the both poles, aperture 3 µm wide; pointed ends; psilate ornamentation. Body dimensions 30×15 µm.

Material.—BOP2 40c; EF: 9P/1.

Occurrence.—Miocene Quilon Beds of Kerala State, South India (Kumar, 1990), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—*Hypoxylon*, Xylariaceae (Elsik, 1990).

Remarks.—*Hypoxylonites miocenicus* Kumar (1990) differs from *Hypoxylonsporites ater* Kumar (1990) by its elongate shape with narrowly rounded ends.

HYPOXYLONITES MINUTUS Elsik 1990
Figure 2.2

Description.—Monocellate, aseptate, elliptical contour; aperture, aperture does not reach the poles; rounded poles with one narrowly rounded end, psilate ornamentation. Body dimensions 18×12 μm.

Material.—BOP2 30b; EF: 23F/3.

Occurrence.—Eocene to Pleistocene (Elsik, 1990), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—*Hypoxylon*, Xylariaceae (Elsik, 1990).

Remarks.—*Hypoxylonites elongatus* Salard-Cheboldaeff and Locquin (1980) has a spore wall that appears to have more than one layer. *Hypoxylonsporites miocenicus* Kumar (1990) has a longitudinal slit that extends from one end to the other.

HYPOXYLONITES sp. 01
Figure 2.3

Description.—Monocellate, aseptate, elliptical contour; aperture, aperture does not reach the poles, aperture 23 μm length; rounded poles with narrowly rounded ends, psilate ornamentation. Body dimensions 30.5×16.8 μm.

Material.—BOP2 10b; EF: 24S/3.

Occurrence.—Eocene to Pleistocene (Elsik, 1990), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—*Hypoxylon*, Xylariaceae (Elsik, 1990).

Remarks.—*Hypoxylonites minutus* Elsik (1990) has a smaller body diameter (13–20 μm). *Hypoxylonsporites ater* Kumar (1990) as well as *Hypoxylonsporites miocenicus* Kumar (1990) have a longitudinal slit extending from one end to the other.

Genus INAPERTISPORITES Van der Hammen, 1954

Type species.—*Inapertisporites variabilis* Van der Hammen 1954.

INAPERTISPORITES MULTIPORUS new species
Figure 2.4

Diagnosis.—One-celled spores, no septa, psilate fungal spore with shape variable with more than ten pores.

Description.—Monocellate, aseptate, likely pantoporate (>10 pores), elliptical contour with slightly rounded poles with narrowly rounded ends, psilate ornamentation. Body dimensions 22×16 μm.

Etymology.—From the numbers of pores along the spore body.

Material.—Holotype, BOP2 30b; EF: 10M/3, (nine specimens).

Occurrence.—BOP2 outcrop (Figure 1), Barreiras Formation, Miocene age.

Taxonomic affinity.—*Ustilago*, Ustilaginaceae (Viégas, 1944; Kalgutkar and Jansonius, 2000).

Remarks.—Some descriptions of this genus were emended by (Elsik, 1968), such as shape variable and psilate fungal spores. *Inapertisporites scabridus* Sheffy and Dilcher (1971) is coarsely pitted. *Inapertisporites triporatus* Kalgutkar and Jansonius (2000) is triporate (3 pores). *Inapertisporites crenulatus* Kumar (1990)

has crenulated margin. *Inapertisporites minutus* Van der Hammen (1954) is scabrate or micropitted and it also is of smaller diameter (9–10 μm).

Genus LACRIMASPORONITES Clarke, 1965

Type species.—*Lacrimasporonites levis* Clarke (1965).

LACRIMASPORONITES LEVIS Clarke 1965
Figure 2.5

Description.—Monocellate, aseptate; monoporate (one pore), apical pore 1.0–2.0 μm wide; elliptical to circular contour, wall 1.2–1.5 μm thick, psilate ornamentation. Body dimensions 16×14 μm.

Material.—BOP2 40a; EF: 20S.

Occurrence.—Upper Cretaceous Vermejo Formation of central Colorado (Clarke, 1965), upper Pliocene Ituzaingó Formation of the Corrientes Province, Argentina (Garralla, 1987), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—Basidiomycetes (Kalgutkar and Jansonius, 2000).

Remarks.—*Lacrimasporonites fusoides* Salard-Cheboldaeff and Locquin (1980) has an elliptical body and is smaller (around 10 μm). *Lacrimasporonites basidii* Elsik (1968) is also smaller (9–14×6–8 μm).

Genus MEDIAVERRUNITES Jarzen and Elsik, 1986

Type species.—*Mediaverrunites mulleri* Nandi and Sinha (2007).

MEDIAVERRUNITES ELSIKII Nandi and Sinha 2007
Figure 2.6

Material.—P9 Am.1; EF: 48M/3.

Description.—Monocellate, aseptate; monoaperturate, pore at one end of the spore; elliptical contour, six verrucae arranged along the equatorial region, verrucae are rounded, 6 μm wide and 3 μm high, spore wall around 1 μm thick, psilate ornamentation. Body dimensions 50×22 μm.

Occurrence.—Lower Miocene to recent (Mizoram, India, Nandi and Sinha, 2007; Holocene mangrove vegetation at the American Memorial Park, Saipan, Northern Marianas, Jarzen and Dilcher, 2006), upper Miocene (Solimões Formation, Amazonas, Brazil, Silveira, 2005), Miocene Solimões Formation.

Taxonomic affinity.—Unknown.

Remarks.—Some descriptions of this genus were emended by Nandi and Sinha (2007), comprising verrucae along the equatorial region that either remain free, or merge to form an equatorial band. *Mediaverrunites invaginatus* Elsik and Jarzen (2009) is overall smaller (28×46 μm), with larger verrucae (10–12 μm). *Mediaverrunites mulleri* Elsik and Jarzen (2009) also has larger verrucae (8–10 μm).

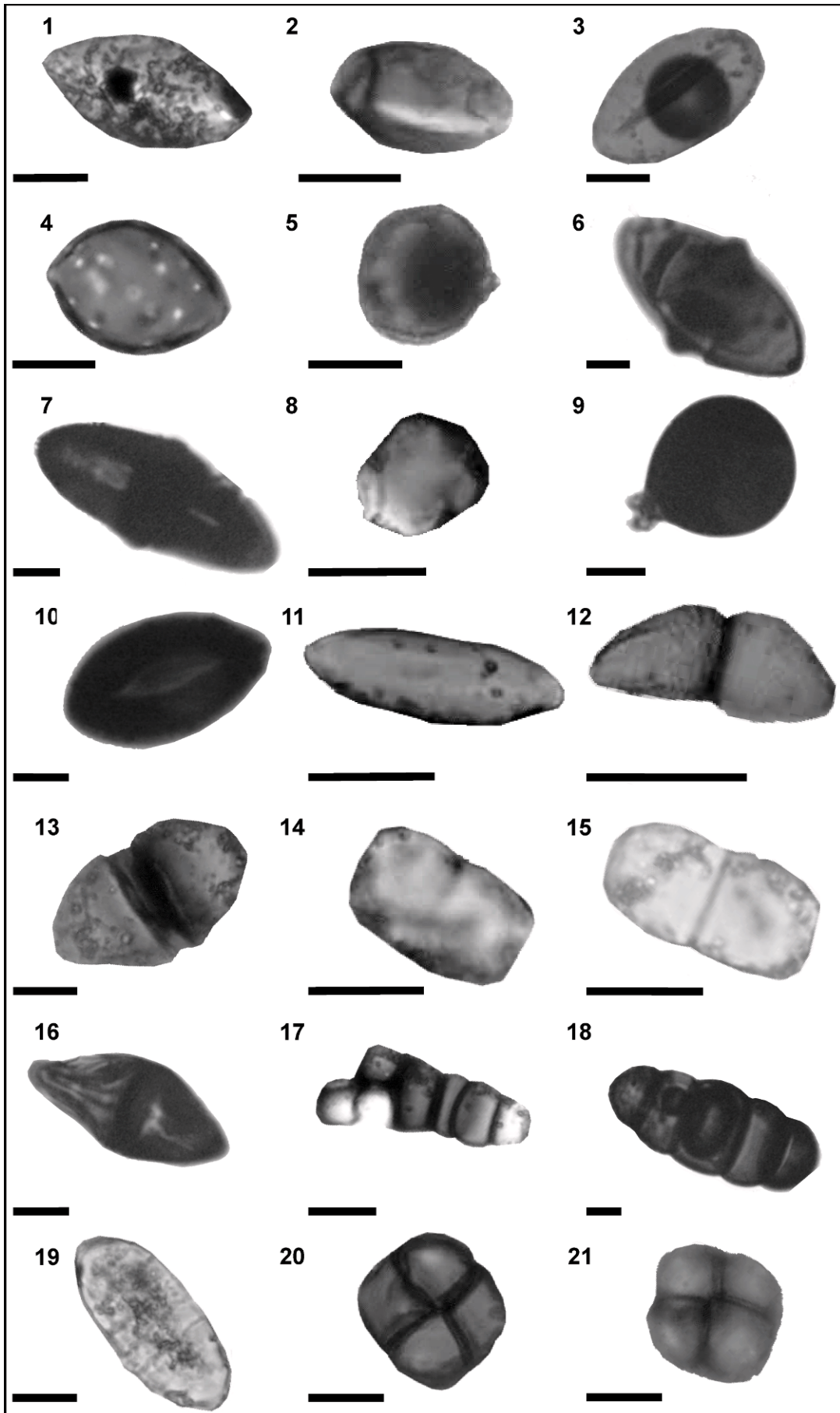
MEDIAVERRUNITES MULLERI Nandi and Sinha 2007
Figure 2.7

Description.—Monocellate, aseptate; monoaperturate, elliptical contour, with verrucae along the equatorial region, verrucae are rounded, 8–9 μm width and 3–4 μm height, spore wall around 1.2–1.5 μm thick, likely psilate. Body dimensions 50×20 μm.

Material.—P2 Am.2A; EF: 57R/2.

Occurrence.—Lower Miocene to recent (Mizoram, India,

Figure 2—Fossil fungi from the Solimões and Barreiras formations. 1, *Hypoxylonsporites ater* Kumar, 1990; 2, *Hypoxylonites minutus* Elsik, 1990; 3, *Hypoxylonites* sp. 01; 4, *Inapertisporites multiporus* n. sp.; 5, *Lacrimasporonites levis* Clarke, 1965; 6, *Mediaverrunites elsikii* Nandi and Sinha, 2007; 7, *Mediaverrunites mulleri* Nandi and Sinha, 2007; 8, *Monoporisporites annulatus* (Van der Hammen, 1954) emend. Sheffy and Dilcher, 1971; 9, *Monoporisporites* sp. 01; 10, *Monoporisporites* sp. 02; 11, *Spirotremesporites simplex* Dueñas-Jiménez, 1979; 12, *Dicellaesporites aculeolatus* Sheff and Dilcher, 1971; 13, *Dyadosporites novus* Kumar, 1990; 14, 15, *Dyadosporites* sp. 01; 16, *Fusiformisporites crabbii* Rouse, 1962; 17, *Multicellaesporites attenuatus* Sheffy and Dilcher, 1971; 18, *Multicellites Cingulatus* Kalgutkar and Jansonius, 2000; 19, *Pluricellaesporites regularis* n. sp.; 20, 21, *Spagazzinites* sp. 01. All scale bars=10 μm.



Nandi and Sinha, 2007; Holocene mangrove vegetation at the American Memorial Park, Saipan, Northern Marianas, Jarzen and Dilcher, 2006), upper Miocene (Solimões Formation, Amazonas, Brazil, Silveira, 2005), Miocene Solimões Formation.

Taxonomic affinity.—Unknown.

Remarks.—*Mediaverrucites elsikii* Nandi and Sinha (2007) has smaller verrucae at the equator, which has the thin-walled pore.

Genus MONOPORISPORITES Van der Hammen, 1954

Type species.—*Monoporisorites minutus* Van der Hammen (1954).

MONOPORISPORITES ANNULATUS Van der Hammen 1954

Figure 2.8

Description.—Monocellate, aseptate; monoporate, pore diameter 2.2 μm with raised annulus, annulus 1.5 μm thick; circular to slightly elliptical contour, psilate ornamentation. Body dimensions 12 \times 11 μm .

Material.—BOP2 40b; EF: 7X.

Occurrence.—Upper Paleocene (Futalaufquén, Chubut, Argentina, Sepúlveda, 1980), middle Eocene (Claiborne Formation, Henry County, Tennessee, Sheffy and Dilcher, 1971), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—Xylariaceae (Whalley, 1996).

Remarks.—Some descriptions of this genus were emended by Sheffy and Dilcher (1971), comprising psilate to finely punctuate ornamentation, shape spherical to subspherical, hilate or monoporate. *Monoporisorites aquilus* has pores less than 1 μm wide and an indistinct annulus (Kalgutkar, 1997). *Monoporisorites stoverii* Elsik (1968) has a larger body diameter (27–30 μm).

MONOPORISPORITES sp. 01

Figure 2.9

Description.—Monocellate, aseptate; monoporate, pore annulate with 3 μm diameter, thicker annulus around 3–3.5 μm thick; spore with circular or elliptical contour, psilate ornamentation. Body dimensions 25 \times 30 μm .

Material.—P9 Am.1A; EF: 50E/1.

Occurrence.—Paleogene to recent (Taylor and Taylor, 1996), Miocene Solimões Formation.

Taxonomic affinity.—Xylariaceae (Whalley, 1996).

Remarks.—*Monoporisorites lagenarius* Kalgutkar and Jansonius (2000) has larger body (40 \times 36 μm) and pore (~10 μm). *Brachysporisorites tenuis* Kumar (1990) is septate. *Monoporisorites annulatus* Van der Hammen (1954) has larger and rounded body with thicker annulus.

MONOPORISPORITES sp. 02

Figure 2.10

Description.—Monocellate, aseptate; monoporate, spore with elliptical contour, psilate ornamentation. Body dimensions 25 \times 18 μm .

Material.—P9 Am.1A; EF: 11W.

Occurrence.—Paleogene to recent (Taylor and Taylor, 1996), Miocene Solimões Formation.

Taxonomic affinity.—Xylariaceae (Whalley, 1996).

Remarks.—*Monoporisorites ovalis* and *Monoporisorites abruptus* Sheffy and Dilcher (1971) are oval and they are smaller, 13 \times 19 μm .

Genus SPIROTREMESPORITES Dueñas-Jiménez, 1979

Type species.—*Spirotremesporites simplex* Dueñas-Jiménez (1979).

SPIROTREMESPORITES SIMPLEX Dueñas-Jiménez 1979

Figure 2.11

Description.—Monocellate, aseptate, inaperturate, spore with

elliptical contour and elongate form, psilate ornamentation with grooves reaching the poles. Body dimensions 22 \times 14 μm .

Material.—BOP2 40a; EF: 31W/1.

Occurrence.—Miocene to Pleistocene (Tarragona Section, Sabana de Bogotá Dueñas-Jiménez, 1979), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—Xylariaceae (Dueñas-Jiménez, 1979).

Remarks.—*Spirotremesporites eminens* Rouse and Mustard (1997) Kalgutkar and Jansonius (2000) has grooves that did not reach the poles. *Lacrimasporonites niger* Kumar (1990) is monoporate.

Group DYDMOSPORAE

Genus DICELLAESPORITES Elsik, 1968

Type species.—*Dicellaesporites popovii* Elsik (1968).

DICELLAESPORITES ACULEOLATUS Sheffy and Dilcher 1971

Figure 2.12

Description.—Dicellate; septate, septum 1–1.5 μm thick; inaperturate, elliptical contour with narrowly ends; psilate ornamentation with small irregular folds. Body dimensions 16–17 \times 7–8 μm .

Material.—BOP2 10b; EF: 32M.

Occurrence.—Upper Paleocene (Futalaufquén, Chubut, Argentina, Sepúlveda, 1980), middle Eocene (Claiborne Formation, Henry County, Tennessee, Sheffy and Dilcher, 1971), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—*Delitschia*, Delitschiaceae (Kalgutkar and Jansonius, 2000).

Remarks.—Some descriptions of this genus were emended by Sheffy and Dilcher (1971), such as shape variable and psilate to scabrate ornamentation. *Dicellaesporites popovii* Elsik (1968) has larger dimensions (32 \times 21 μm). *Dicellaesporites elongatus* Ramanujam and Rao (1978) presents indistinct ornamentation. *Dicellaesporites delitschiapites* Kalgutkar and Sigler (1995) has larger body dimensions, 25–28 \times 11–13 μm .

Genus DYADOSPORITES Van der Hammen, 1954

Type species.—*Dyadosporites ellipsus* Clarke (1965).

DYADOSPORITES NOVUS Kumar 1990

Figure 2.13

Description.—Dicellate, cells with 13.5 μm length; septate, septum 3.5 μm thick; diporate with pores at the end of each cell, and pore diameter around 2 μm ; spore with elliptical contour and psilate ornamentation. Body dimensions 32 \times 19 μm .

Material.—BOP2 15a; EF: 12D.

Occurrence.—Upper Paleocene (Futalaufquén, Chubut, Argentina, Sepúlveda, 1980), middle Eocene (Claiborne Formation, Henry County, Tennessee, Sheffy and Dilcher, 1971), lower and middle Miocene (Quilon Beds of Kerala State, South India, Kumar, 1990), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—Ascomycetes (Van der Hammen, 1954).

Remarks.—A single pore at each end of the spore was a character emended by Elsik (1968) for this genus. *Dyadosporites dubius* Kumar (1990) has smaller dimensions (15–8 \times 12–13 μm) and a thinner septum (around 2 μm thick). *Dyadosporonites subovalis* Sheffy and Dilcher (1971) has smaller dimensions, 11 \times 6 μm .

DYADOSPORITES sp. 01

Figure 2.14, 2.15

Description.—Dicellate, cells with 8 μm length; septate, septum 0.4 μm thick; diporate, pore 5 μm diameter; spore with elliptical contour; psilate ornamentation. Body dimensions 17 \times 10 μm .

Material.—BOP2 40a; EF: 17M. BOP2 40b; EF: 22J.

Occurrence.—Upper Paleocene (Futalaufquén, Chubut, Argentina, Sepúlveda, 1980), middle Eocene (Claiborne Formation, Henry County, Tennessee, Sheffy and Dilcher, 1971), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—Ascomycetes (Van der Hammen, 1954).

Remarks.—*Dyadosporites dubius* Kumar (1990) has a thicker septum (around 2 µm thick). *Psidimobiospora scabratus* Kumar (1990) is scabrate.

Genus FUSIFORMISPORITES Rouse, 1962

Type species.—*Fusiformisporites crabii* Rouse (1962).

FUSIFORMISPORITES CRABII Rouse 1962
Figure 2.16

Description.—Dicellate, cells with around 18 µm length; septate, septum 2 µm thick; inaperturate, fusiform contour, ridges or costae oriented parallel to the long axis, psilate to scabrate ornamentation. Body dimensions 40×20 µm.

Material.—P2 Am.4; EF: 65E/4.

Occurrence.—Upper Cretaceous–middle Eocene (Rockdale lignite, Milam County, Texas, Elsik, 1968). Paleocene to Recent (Calumbi Formation, Sergipe Basin, Brasil, Ferreira et al., 2005). This species has also been recorded in the middle Eocene of the Mackenzie Delta (Parsons and Norris, 1999), Miocene Solimões Formation.

Taxonomic affinity.—*Cookeina*, Sarcoscyphaceae (Kalgutkar and Jansonius, 2000; Kalgutkar and Sigler, 1995).

Remarks.—*Fusiformisporites septatus* Ramirez (2004) has convex sides. *Fusiformisporites foedus* Salujha et al. (1974) has a thinner septum (1–2 µm thick), while *Fusiformisporites rugosus* Sheffy and Dilcher (1971) has a thicker septum (3 µm thick).

GROUP PHRAGMOSPORAE

Genus MULTICELLAESPORITES Elsik, 1968

Type species.—*Multicellaesporites nortonii* Elsik (1968).

MULTICELLAESPORITES ATTENUATUS Sheffy and Dilcher 1971
Figure 2.17

Description.—Multicellate, six irregular oblong cells (2.5–5 µm length); septate (4 septa), septum 0.8 µm thick; inaperturate with rounded poles, elliptical contour, psilate ornamentation. Body dimensions 32×10 µm.

Material.—BOP2 40a; EF: 35P/2.

Occurrence.—Upper Paleocene (Futalaufquén, Chubut, Argentina, Sepúlveda, 1980), middle Eocene (Claiborne Formation, Henry County, Tennessee, Sheffy and Dilcher, 1971), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—*Calonectria*, Nectriaceae (Kalgutkar and Jansonius, 2000).

Remarks.—*Multicellaesporites grandiusculus* Sheffy and Dilcher (1971) is pentacellate (five cells). *Pluricellaesporites tenuis* Sheffy and Dilcher (1971) has a thinner body, ~4 µm and is monoporate.

Genus MULTICELLITES Kalgutkar and Jansonius, 2000

Type species.—*Multicellites tener* Kalgutkar and Jansonius (2000).

MULTICELLITES CINGULATUS Kalgutkar and Jansonius 2000
Fig. 2.18

Description.—Multicellate, six irregular cells (10–18 µm length); septate, four septa, septum around 1 µm thick; inaperturate; elliptical contour, psilate ornamentation. Body dimensions 62×23 µm.

Material.—P2 Am.4A; EF: 33J/1.

Occurrence.—Eocene to Oligocene (Kalgutkar and Jansonius, 2000, Miocene Solimões Formation).

Taxonomic affinity.—*Meliola*, Meliolaceae (Kalgutkar and Jansonius, 2000; Kalgutkar and Singer, 1995).

Remarks.—*Multicellites grandiusculus* Kalgutkar and Jansonius (2000) has smaller dimensions (50–52×19–20 µm). *Pluricellaesporites serratus* Sheffy and Dilcher (1971) has smaller body size 31×9 µm.

Genus PLURICELLAESPORITES Van der Hammen, 1954

Type species.—*Pluricellaesporites typicus* Van der Hammen (1954).

PLURICELLAESPORITES REGULARIS new species
Figure 2.19

Diagnosis.—Psilate fungal spores with shape variable, six cells with similar length and two thicker cells in the poles, seven septa and two pores.

Description.—Multicellate, six regular cells (3 µm length) and two thicker cells in the poles (5 µm length); septate (seven septa), septum around 0.5 µm thick; diporate with pore around 0.5 µm diameter; elliptical contour, psilate ornamentation. Body dimensions 34×15 µm.

Etymology.—From the regular sizes of the cells.

Material.—Holotype, BOP2 40b; EF: 13P, (twelve specimens).

Occurrence.—BOP2 outcrop (Fig. 1), Barreiras Formation, Miocene age.

Taxonomic affinity.—*Curvularia*, Pleosporaceae (Kalgutkar and Jansonius, 2000).

Remarks.—*Pluricellaesporites typicus* Van der Hammen (1954) is scabrate or with low ornamentation. *Pluricellaesporites ellipticus* Martínez–Hernández and Tomasini–Ortiz (1989) has five to six cells and larger size (57×16 µm). *Pluricellaesporites excipularis* Kalgutkar and Sigler (1995) also has six cells. *Multicellites cingulatus* Kalgutkar and Jansonius (2000) has six irregular cells (10–18 µm length) and a thicker septum (1 µm thick).

Group STAUROSPORAE

Genus SPEGAZZINITES Felix, 1984

Type species.—*Spegazzinites cruciformis* Felix (1984).

SPEGAZZINITES sp. 01
Figure 2.20, 2.21

Description.—Tetracellate, cells with regular sizes (10 µm length); septate, septum 1 µm thick; inaperturate, circular contour, psilate ornamentation. Body diameter 21 µm.

Material.—BOP2 10a; EF: 45G. BOP2 15b; EF:28Q/2.

Occurrence.—Upper Eocene to Oligocene Itaquaquecetuba Formation, São Paulo Basin, Brazil (Santos, 2008), Miocene Barreiras Formation.

Taxonomic affinity.—*Spegazzinia* (Kumar, 1990).

Remarks.—There are three species described: *Spegazzinites tetradus* Kalgutkar and Jansonius (2000), *Spegazzinites cruciformis* Felix (1894), *Spegazzinites indicus* Ramanujam and Srisailam (1980), all of these have very similar morphological features and we did not find key features to propose a new species for this genus and/or distinguish *Spegazzinites* sp. 01 from other species, likely this genus must be reviewed.

DISCUSSION

The fungal assemblages recovered from the Miocene Solimões and Barreiras formations comprises four spore groups, including 19 described species placed into 12 genera and, two new species. The Amerosporae group has the highest number of genera including 11 species, while Dydmosporae and

TABLE 1—Frequency of each fungi species from sedimentary samples of the Solimões and Barreiras formations. Notes: *—new species; rare is <10%; common is 10–30%; abundant is 30–80%.

Fossil fungi	Barreiras	Solimões	Abundance
<i>Dicellaesporites aculeolatus</i>	BOP2: 10, 15, 20, 60		Common
<i>Dyadosporites novus</i>	BOP2: 15, 20, 25		Common
<i>Dyadosporites</i> sp. 01	BOP2: 30, 40, 50		Common
<i>Fusiformisporites crabbii</i>		P9 Am: 1–7 P2 Am: 1–5	Common
<i>Hypoxylonsporites ater</i>	BOP2: 30, 40, 50, 50, 60		Common
<i>Hypoxylonites minutus</i>	BOP2: 30, 40, 50, 60		Abundant
<i>Hypoxylonites</i> sp. 01	BOP2: 15, 20, 25		Rare
<i>Inapertisporites multiporus</i> *	BOP2: 15, 20, 30		Rare
<i>Lacrimasporonites levis</i>	BOP2: 40, 50, 70		Rare
<i>Mediaverrunites elsikii</i>		P9 Am: 1–7 P2 Am: 1–5	Common
<i>Mediaverrunites mulleri</i>		P9 Am: 1–7 P2 Am: 1–5	Common
<i>Monoporisporites annulatus</i>	BOP2: 40, 50, 70		Rare
<i>Monoporisporites</i> sp. 01		P9 Am: 1–7 P2 Am: 1–5	Common
<i>Monoporisporites</i> sp. 02		P9 Am: 1–7 P2 Am: 1–5	Common
<i>Multicellaesporites attenuatus</i>	BOP2: 40, 50, 70, 80		Common
<i>Multicellites cingulatus</i>		P9 Am: 1–7 P2 Am: 1–5	Common
<i>Pluricellaesporites regularis</i> *	BOP2: 40, 60, 80		Rare
<i>Spegazzinites</i> sp. 01	BOP2: 10, 15, 20, 30		Common
<i>Spirotremesporites simplex</i>	BOP2: 40, 60, 80		Rare

Phragmosporae include three genera each with four and three species, respectively. Only one species belonging to Staurosporae was identified in our material.

The assemblages recovered from the Solimões Formation include four species in two genera belonging to the Amerosporae group, *Mediaverrunites* and *Monoporisporites* sp. *Mediaverrunites elsikii*, *Mediaverrunites mulleri*, and *Monoporisporites* sp. were only found in the Solimões Formation. These are usually found in lakes with high amounts of organic matter (e.g., Santos, 2008), and river deposits in tropical regions (Jarzen and Elsik, 1986). Dydomosporae and Phragmosporae are only represented by *Fusiformisporites crabbii* and *Multicellites cingulatus*, respectively, which are biotrophs on leaves and stems of plants in wet forests (Cannon and Kirk, 2007), and can also be found on fallen branches, trunks of angiosperms, and sometimes on fruits in wet forests (Weinstein, 2002). Therefore, this fungal assemblage and sedimentary facies may indicate river channel margins colonized by freshwater vegetation, where seasonal fluctuations of water table and rainfall may produce wetter substrates.

The assemblages of the Barreiras Formation showed higher species and generic diversity than those of the Solimões Formation. The Amerosporae group is represented by seven species belonging to five genera. *Hypoxylonites minutus*, *Hypoxylonsporites ater* and *Hypoxylonites* sp., all Ascomycetes are commonly found on dead wood of tropical areas (Elsik, 1990). A new species of *Inapertisporites* was described, *Inapertisporites multiporus*, an Ustilaginomycetes that likely parasitize vascular plants of humid grasslands such as freshwater marshes (e.g., Kirk et al., 2008). The genus *Lacrimasporonites* is represented by *Lacrimasporonites levis*, an important agent of wood decay, decomposers of leaf litter and animal dung, as well as a mycorrhizal partner of freshwater forest trees (White, 2012). *Monoporisporites annulatus* and *Spirotremesporites simplex* are related to Ascomycetes and Xylariaceae, respectively, and they are typically found on wood, seeds, fruits, and leaves and also are part of environments that are part of hydrosere successions from moist to inundated conditions (Whalley, 1996; White, 2012). The Dydomosporae were represented by two genera and three species: *Dicellaes-*

porites aculeolatus, *Dyadosporites novus*, and *Dyadosporites* sp. *Dicellaesporites aculeolatus* is strong indicator of the presence of mangrove forests (brackish water forests), whereas species of *Dyadosporites* are associated with wood and plant leaves from tropical terra firme areas (Whalley, 1996). The Phragmosporae group consists of two genera and two species, *Multicellaesporites attenuatus* and a new species of *Pluricellaesporites*, *Pluricellaesporites regularis*; both species may be pathogens of many plants from tropical wetlands (e.g., Whalley, 1996; Monteiro et al., 2003). The only species of the Staurosporae group of the Barreiras Formation is *Spegazzinites* sp., corresponding to saprophytes occurring on dead leaves or herbaceous dead stems of many different plants of estuarine environments (Borut and Johnson, 1962).

Considering the use of fossil fungi for palynostratigraphic zonations, *Inapertisporites multiporus*, *Mediaverrunites elsikii*, *Mediaverrunites mulleri*, *Pluricellaesporites regularis* and *Spirotremesporites simplex* serve as stratigraphic indicators of the Miocene, when combined with miospore index taxa such as *Verrucolporites rotundiporus* Van der Hammen and Wijmstra, 1964, *Psiladiporites minimus* Van der Hammen and Wijmstra, 1964, *Crassoretitriletes vanraadshooveni* Germeraad et al., 1968, *Grimsdalea magnaclavata* Germeraad et al., 1968, *Fenestrites longispinosus* Lorente, 1986, and *Psilatricolporites caribbiensis* Muller et al., 1987.

CONCLUSION

This study from Miocene successions from the Coari and Belém localities in Brazilian Amazonas reveals the first detailed record of well preserved fossil fungal assemblages. The fungal assemblages of the Solimões Formation suggest river channel margins colonized by freshwater vegetation influenced by seasonal fluctuations of water table and rainfall. The Barreiras Formation has higher species and generic diversity than the Solimões Formation, including parasites of plant species from tropical wetlands, and indicators of the presence of mangroves and marine influence. Further we have shown that these fungal assemblages serve as stratigraphic indicators for rocks of Miocene age, when combined with vascular plant miospore index taxa. We conclude, therefore, that fossil fungi are

sufficient in quantity to derive interpretations of vegetational patterns as well as marine and fluvial influence in the Amazon Region.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the members of the Instituto Tecnológico Vale, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará for their support, and two anonymous reviewers who helped improve this manuscript.

REFERENCES

- BORUT, S. Y. AND T. W. JOHNSON. 1962. Some biological observations on fungi in estuarine sediments. *Mycologia*, 54:181–193.
- CANNON, P. F. AND P. M. KIRK. 2007. *Fungal Families of the World*. Wallingford, CABI. 456 p.
- CARVALHO, M. A. 2003. Paleoeological and paleoclimatic studies based on palynology of Pliocene and Pleistocene sediments from the Foz do Amazonas Basin, Brazil. *Neues Jahrbuch für Stratigraphie und Paläontologie*, 229:1–18.
- CLARKE, R. T. 1965. Fungal spores from Vermejo Formation coal beds (Upper Cretaceous) of central Colorado. *Mountain Geologist*, 2:85–93.
- DUEÑAS-JIMEZ, H. 1979. Estudio palinológico de los 35 mts. superiores de la Sección Tarragona, Sabana de Bogotá. *Caldasia*, 12:539–571.
- ELSIK, W. C. 1968. Palynology of Paleocene Rockdale lignite, Milam County, Texas. I. Morphology and taxonomy. *Pollen et Spores*, 10:263–314.
- ELSIK, W. C. 1976. Microscopy fungal remains and Cenozoic palynostratigraphy. *Geoscience and Man*, 15:115–120.
- ELSIK, W. C. 1990. Hypoxylonites and Spirotremesporites, form genera for Eocene to Pleistocene fungal spores bearing a single furrow. *Palaeontographica, Abteilung B*, 216:137–169.
- ELSIK, W. C. AND J. JANSONIUS. 1974. New genera of Paleogene fungal spores. *Canadian Journal of Botany*, 52:953–958.
- ELSIK, W. C. AND D. M. JARZEN. 2009. New Species of the Late Cenozoic Fungal Form—Genus *Mediaverrinites* Jarzen and Elsik 1986 Ex Nandi and Sinha 2007. *Palynology*, 33:99–104.
- FELIX, J. 1894. Studien über fossile Pilze. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 46:269–280.
- FERREIRA, E. P., M. A. CARVALHO, AND M. C. VIVIERS. 2005. Palinologia (fungos) da Formação Calumbi, Paleoceno da Bacia de Sergipe, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, 63:395–410.
- FREITAS, A. G. 2005. Reconstrução paleoclimática com base na análise de palinóforos continentais em sedimentos pleistocênicos–holocênicos do talude continental brasileiro de bacia de Campos, RJ. Unpublished Master dissertation. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 126 p.
- FREITAS, A. G. AND M. A. CARVALHO. 2011. Esporas e frutificações de fungos Holocênicos detestemunho da Lagoa da Ferradura (Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 14:179–188.
- GARRALLA, S. 1987. Palinóforos (Fungi) de la Formación Ituzaingo (Plioceno Superior) de La Provincia de Corrientes, Argentina. *Facena*, 7:87–109.
- GERMERAAD, J. H., C. A. HOPPING, AND J. MULLER. 1968. Palynology of Tertiary sediments from tropical areas. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 6:189–348.
- HOORN, C. 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: Results of a palynostratigraphic study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 105:267–309.
- HOORN, C. 1994. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonas Basin (early Miocene–early middle Miocene, Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 109:1–54.
- HOORN, C., F. P. WESSELINGH, H. TER STEEGE, M. A. BERMUDEZ, A. MORA, J. SEVINK, I. SANMARTÍN, A. SANCHEZ-MESEGUER, C. L. ANDERSON, J. P. FIGUEIREDO, C. JARAMILLO, D. RIFF, F. R. NEGRI, H. HOOGHIEMSTRA, J. LUNDBERG, T. STADLER, T. SÄRKINEN, AND A. ANTONELLI. 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science*, 330:927–931.
- JANSONIUS, J. AND R. M. KALGUTKAR. 2000. Redescription of some fossil fungal spores. *Palynology*, 24:37–47.
- JARAMILLO, C., C. HOORN, S. A. F. SILVA, F. LEITE, F. HERRERA, L. QUIROZ, R. DINO, AND L. ANTONIOLI. 2010. The origin of the modern Amazon rainforest: Implications of the palynological and palaeobotanical record, p. 317–334. *In* C. Hoorn and F. P. Wesselingh (eds.), *Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past*. Wiley-Blackwell, Oxford.
- JARZEN, D. M. AND W. C. ELSIK. 1986. Fungal palynomorphs recovered from recent river deposits, Luangwa Valley, Zambia. *Palynology*, 10:35–60.
- JARZEN, D. M. AND D. L. DILCHER. 2006. Report on a palynological assessment of Holocene mangrove vegetation at the American Memorial Park, Saipan, Northern Marianas. Unpublished report to the United States National Parks Service, 31 p.
- KALGUTKAR, R. M. AND L. SIGLER. 1995. Some fossil fungal form—taxa from the Maastrichtian and Palaeogene ages. *Mycological Research*, 99:513–522.
- KALGUTKAR, R. M. 1997. Fossil fungi from the lower Tertiary Iceberg Bay Formation, Eureka Sound Group, Axel Heiberg Island, Northwest Territories, Canada. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 97:197–226.
- KALGUTKAR, R. M. AND J. JANSONIUS. 2000. Synopsis of Fossil Fungal Spores, Mycelia, and Frutifications. Dallas, American Association of Stratigraphy Palynologists Foundation, Contributions Series 39, 423 p.
- KAR, R., B. D. MANDAOKAR AND R. K. KAR. 2010. Fungal taxa from the Miocene sediments of Mizoram, northeast India. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 158:240–249.
- KIRK, M. P., P. F. CANNON, D. W. MINTER, AND J. A. STALPERS. 2008. *Dictionary of the Fungi*, (tenth edition). Wallingford, CABI, 718 p.
- KUMAR, P. 1990. Fungal remains from the Miocene Quilon beds of Kerala State, South India. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 62:13–28.
- LANGE, R. T. 1978. Southern Australian Tertiary epiphyllous fungi, modern equivalents in the Australasian region and their palaeohabitat indicator value. *Canadian Journal of Botany*, 46:532–541.
- LANGE, R. T. AND P. H. SMITH. 1971. The Maslin Bay flora, South Australia. 3. Dispersed fungal spores. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte*, 11, 663–681.
- LATRUBESSE, E. M., M. COZZUOL, S. A. F. DA SILVA-CAMINHA, C. A. RIGSBY, M. L. ABSY, AND C. JARAMILLO. 2010. The late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. *Earth Science Reviews*, 99:99–124.
- LEITE, F. P. R., M. E. BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. ARAI, AND W. TRUCKENBRODT. 1997. Palinostrografia da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, Mioceno do Nordeste do Estado do Pará, Brasil. *Revista Universidade de Guarulhos, Geociências*, 2:141–147.
- LORENTE, M. A. 1986. Palynology and Palynofacies of the Upper Tertiary in Venezuela. *Dissertatione Botanicae*, Band 99, J. Cremer, Berlin-Stuttgart, 222 p.
- MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, E. AND A. C. TOMASINI-ORTIZ. 1989. Esporas, hifas y otros restos de hongos fósiles de la cuenca carbonífera de Fuentes-Río Escondido (Campaniano–Maastrichtiano), Estado de Coahuila. *Rev. Inst. Geol. UNAM*, 8:235–242.
- MONTEIRO, F. A., B. S. VIEIRA, R. W. BARRETO. 2003. *Curvularia lunata* and *Phyllachora* sp.: Two fungal of the grassy weed *Hymenache amplexicaulis* from Brazil. *Australasian Plant Pathology*, 32:449–453.
- MULLER, J., E. GIACOMO, AND A. W. VAN ERVE. 1987. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. American Association of Stratigraphy Palynologists Foundation, Contribution Series, 19:7–76.
- NANDI, B. AND A. SINHA. 2007. Validation of the Miocene fungal spore *Mediaverrinites* from Mizoram, India. *Palynology*, 31:95–100.
- PARSONS, G. M. AND G. NORRIS. 1999. Paleogene fungi from the Caribou Hills, Mackenzie Delta, northern Canada. *Palaeontographica Abt. B*, 250:77–167.
- PIROZYNSKI, K. A. 1976. Fungal spores in fossil record. *Biological Memoirs*, 1:104–120.
- RAMANUJAM, C. G. K. AND K. P. RAO. 1978. Fungal spores from the Neogene strata of Kerala in South India. *Proceedings of the IVth International Palynological Conference*, Lucknow, 1976–77, 1:291–304.
- RAMANUJAM, C. G. K. AND K. SRISAILAM. 1980. Fossil fungal spores from the Neogene beds around Cannanore in Kerala State. *The Botanique*, 9:119–133.
- RAMÍREZ, R. A. 2004. Middle to late Eocene dinoflagellate cysts and fungal spores from the east coast of the Maracaibo Lake, Venezuela (Biostratigraphy, Palaeoecology and Taxonomy). Unpublished Ph.D. dissertation, Geowissenschaften Fakultät der Eberhard–Karls–Universität Tübingen. 145 p.
- ROUSE, G. E. 1962. Plant microfossils from the Burrad Formation of western British Columbia. *Micropalaeontology*, 8:187–218.
- ROUSE, G. E. AND P. S. MUSTARD. 1997. Nomenclatural note and corrections. *Palynology*, 21:207–208.
- SALARD-CHEBOLDAEFF, M. AND M. V. LOCQUIN. 1980. Champignons présents au Tertiaire le long du littoral de l'Afrique équatoriale. 105e Congrès National des Sociétés savantes, Caen, 1980, Sciences, fascicule 1:183–195.
- SALUJHA, S. K., G. S. KINDRA, AND K. REHMAN. 1974. Palynology of the South Shillong Front, Part II. The Palaeogenes of Khasi and Jaintia hills. *Palaeobotanist*, 21(3):267–284.
- SANTOS, D. B. 2008. A paleopalynologia na reconstrução da paisagem Paleógena na Formação Itaquaquecetuba (Mineradora Itaquaquecetuba 1), Bacia de São Paulo, Brasil. Unpublished Master dissertation. Pós-graduação em Análise Geoambiental, Universidade de Guarulhos, 302 p.
- SEPÚLVEDA, E. G. 1980. Estudio palinológico de sedimentitas intercaladas en la "Serie Andesítica Andina," cordón oriental del Futalaufquén, Chubut, *Revista Asociación Geológica Argentina*, 35:248–272.

- SHARMA, N., R. K. KAR, A. AGARWAL, AND R. KAR. 2005. Fungi in dinosaurian (Isisaurus) coprolites from the Lameta Formation (Maastrichtian) and its reflection on food habit and environment. *Micropaleontology*, 51:73–82.
- SHEFFY, M. V. AND D. L. DILCHER. 1971. Morphology and Taxonomy of fungal spores. *Palaentographica*, Abt. B., 133:34–51.
- SILVA-CAMINHA, S. A. F., C. A. JARAMILLO, AND M. L. ABSY. 2010. Neogene palynology of the Solimões Basin, Brazilian Amazonia. *Palaentographica Abteilung B: Palaeobotany–Palaeophytology*, 283:1–67.
- SILVEIRA, R. R. 2005. Cronoestratigrafia e interpretação paleoambiental de depósitos Miocenos da Formação Solimões, região de Coari, AM. Unpublished Master dissertation. Programa de Pós-Graduação em Geociências–Universidade Federal do Amazonas, 91 p.
- SOOMRO, S., S. M. LEGHARI, R. LASHARI, A. W. RAJAR, AND Q. D. ABBASI. 2010. Fossil fungal spores from brown coal of Sonda, District Thatta, Sindh, Pakistan. *Sindh University Research Journal, Science Series*, 42(2):73–84.
- TAYLOR, T. N. AND E. L. TAYLOR. 1996. The distribution and interactions of some Paleozoic fungi. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 95:83–94.
- TRIPATHI, A. 2001. Fungal remains from Early Cretaceous Intertrappean beds of Rajmahal Formation in Rajmahal Basin, India. *Cretaceous Research*, 22: 565–574.
- UESUGUI, N. 1979. Palinologia: técnicas de tratamento de amostras. *Boletim Técnico Petrobrás*, 22:229–240.
- VAJDA, V. AND S. MCLOUGHLIN. 2004. Fungal proliferation at the Cretaceous–Tertiary boundary. *Science*, 303:1489.
- VAN DER HAMMEN, T. 1954. The development of Colombian flora throughout geologic periods: I, Maestrichtian to Lower Tertiary. *Boletín Geológico*, 2: 49–106.
- VAN DER HAMMEN, T. 1956. Description of some genera and species of fossil pollen and spores. *Boletín Geológico*, 4:103–109.
- VAN DER HAMMEN, T. AND T. A. WIJMSTRA. 1964. A palynological study on the Tertiary and the Upper Cretaceous of British Guyana. *Leidse Geol. Meded.*, 30:183–241.
- VEGA, A. M. L. 2006. Reconstituição paleoambiental dos depósitos miocênos da região do Rio Purus, Bacia do Solimões (AM). Unpublished Master dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Amazonas.
- VEGA, A. M. L., A. C. R. NOGUEIRA, AND R. W. MAPES. 2006. Delta–Lacustre da e Mioceno da Parte Leste da Bacia do Solimões: Implicações na História do Rio Amazonas. *In ABEQUA 2007*, Belém. http://www.abequa.org.br/trabalhos/2007_angela_maria_simposioba.pdf
- VIÉGAS, A. P. 1944. Alguns fungos do Brasil III. Ustilaginales. *Bragantia*, 4: 739–762.
- WEINSTEIN, R. N., D. H. PFISTER, AND T. ITURRIAGA. 2002. A phylogenetic study of the genus *Cookeina*. *Mycologia*, 94:673–682.
- WHALLEY, A. J. S. 1996. The xylariaceous way of life. *Mycological Research* 100:897–922.
- WHITE, J. M. 2012. The palynostratigraphy, age, and environment of strata penetrated by the Mallik 5L–38 gas hydrate research well determined by differentiating the recycled and contemporaneous palynomorphs. *Geological Survey of Canada, Open File 6882*, 90 p.

ACCEPTED 4 JANUARY 2013