

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE PALEONTOLOGIA E ESTRATIGRAFIA

CAMILA MORAES BETELLA

**PALINOLOGIA DA FORMAÇÃO PIAUÍ (PENNSILVANIANO),
GRUPO BALSAS, BORDA LESTE DA BACIA DO PARNAÍBA:
PALINOESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTES**

Porto Alegre

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE PALEONTOLOGIA E ESTRATIGRAFIA

CAMILA MORAES BETELLA

**PALINOLOGIA DA FORMAÇÃO PIAUÍ (PENNSILVANIANO), GRUPO
BALSAS, BORDA LESTE DA BACIA DO PARNAÍBA:
PALINOESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTES**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. Paulo Alves de Souza e Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Supervisora: Dr. Cristina Moreira Félix

Porto Alegre, 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Betella, Camila Moraes
Palinologia da Formação Piauí (Pennsylvaniano),
Grupo Balsas, Borda Leste da Bacia do Parnaíba:
palinoestratigrafia e paleoambientes / Camila Moraes
Betella. -- 2019.
60 f.
Orientadores: Paulo Alves de Souza, Claiton Marlon
dos Santos Scherer.

Coorientadora: Cristina Moreira Félix.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2019.

1. Palinofácies. 2. Palinomorfos. 3.
Bioestratigrafia. 4. Permocarbonífero. I. Alves de
Souza, Paulo, orient. II. Marlon dos Santos Scherer,
Claiton, orient. III. Moreira Félix, Cristina,
coorient. IV. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial aos meus orientadores Dr. Paulo Alves de Souza, Dr. Claiton Scherer e a minha coorientadora Dr. Cristina M. Félix, pela dedicação, paciência, apoio, reconhecimento e inspiração.

Aos doutorandos Carrel Kifumbi e Edvaldo Oliveira, e a todos os amigos e colegas do Laboratório de Palinologia Marleni Marques-Toigo.

Aos meus pais, Diomara e Valdemar pelo amor e apoio incondicional, e a toda a minha família por compreenderem a distância e ausência em todos os momentos que não pude estar presente.

Aos meus amigos e colegas pelos momentos especiais e felizes vividos nessa minha trajetória de graduação.

Aos colegas e amigos da G&P Soluções Ambientais, em especial a Patrícia Sardão e ao Felipe Castaman pelo acolhimento, incentivo e compreensão.

Ao CNPQ pelo incentivo que possibilitou a execução deste trabalho de pesquisa.

RESUMO

Estudos de caráter estratigráfico e palinológico são de grande importância para o conhecimento de bacias sedimentares, permitindo posicionar e correlacionar intervalos quanto ao tempo, espaço e ambiente deposicional. Entretanto, para o intervalo permocarbonífero da Bacia Parnaíba são escassos os dados palinológicos à disposição, sendo que para a Formação Piauí (Pennsylvaniano), unidade basal do Grupo Balsas (Neocarbonífero – Eotriássico), existem apenas dois trabalhos publicados. Tendo em vista a relevância de tais estudos, este projeto busca contribuir para um melhor entendimento das relações bioestratigráficas e paleoambientais dessa formação, por meio de análises taxonômicas e de palinofácies. Para isso, foi realizada uma aquisição de dados oriundos de testemunho e afloramentos, onde foram confeccionadas 24 lâminas de 12 amostras do poço 1-UN-09-PI, perfurado no Município de Caxias (MA) e 20 lâminas de cinco afloramentos, do Município de Amarante (PI), que foram descartadas por não apresentarem palinofórmos bem preservados. Tal material, foi obtido mediante aplicação de metodologia padrão proposta para rochas sedimentares paleozoicas, que consiste em desagregação física de amostras e aplicação de sucessivos ataques químicos com Ácido Clorídrico (HCl) e Ácido Fluorídrico (HF). A análise qualitativa, realizada a partir de microscopia em luz branca transmitida e luz azul ultravioleta, permitiu a identificação de 62 táxons de palinomorfos, 33 a mais do que o registrado anteriormente para o mesmo intervalo de 110,60 m a 178,12 m do Poço 1-UN-09-PI, permitindo uma ampliação do registro taxonômico para a localidade. Por critério de amplitude de táxons, o registro de *Raistrickia cephalata*, restrita à Zona *Raistrickia cephalata*, e outros táxons representativos, é sugerida uma idade moscoviana para o intervalo, de acordo com o biozoneamento proposto para a bacia vizinha, Bacia do Amazonas. Já para o estudo de palinofácies foi utilizada a metodologia padrão, onde foram aplicadas análises quali-quantitativas, com contagem de 300 elementos de natureza orgânica por nível amostrado. Os resultados permitiram a subdivisão do intervalo selecionado em dois grupos principais, de acordo com o percentual de matéria orgânica amorfa, fitoclastos e palinomorfos, assim como a subdivisão desses em ciclos de mais alta frequência dentro de um ambiente deposicional transicional de plataforma rasa. A partir de tais resultados, foi possível identificar a abundância de elementos continentais na base em relação ao topo da seção, o que infere à existência de uma macroflora para o período e, possivelmente, condições climáticas mais úmidas na base, já que é observado um aumento dos depósitos típicos de clima árido em direção ao topo.

Palavras-Chave: Palinofácies; Palinomorfos; Bioestratigrafia; Permocarbonífero.

ABSTRACT

Stratigraphic and palynological studies are of great importance to the understanding of a sedimentary basin allowing the positioning and correlation of intervals in time, space and depositional environment. Studies with palynological data for the Piauí Formation (Pennsylvanian), basal unit of the Balsas Group (Upper Carboniferous – Lower Triassic) of the Parnaíba Basin are scarce, with two papers published so far. Considering the relevance of such studies, this study aims to contribute to a better understanding over biostratigraphy and paleoenvironment of the Piauí Formation by taxonomic and palynofacies analysis. Samples were collected from the well 1-UN-09-PI, located at the Caxias, Maranhão State, and on outcrops located at Amarante, Piauí State. The methodology of samples preparation followed the standard process for the paleozoic samples, that consist in a sequence of chemical applications of Hydrochloric Acid (HCl) and Hydrofluoric Acid (HF). This process resulted in 24 slides of the 12 horizons select in the well samples and 20 slides from five outcrops that was discarded because did not contain well-preserved palynomorphs. Palynostratigraphical results identified 62 taxa of palynomorphs for the well intervals between 110.60 and 178.12 m whereas that the last work registered 29. The species *Raistrickia cephalata*, restricted to the *Raistrickia cephalata* Zone according to the biostratigraphic record of the Amazonas Basin, occurs together with other representative taxa indicative of the Moscovian age (Pennsylvanian). For the palynofacies analysis, counting of 300 organic elements per sampled horizon allowed for the subdivision of the selected interval into two main groups, according to the percentage of amorphous organic matter, phytoclasts and palynomorphs, as well as their subdivision into higher frequency cycles within a transitional shallow platform depositional environment. From these results, it was possible to identify an enrichment of continental elements in the base of the section compare to the top. This relation infers the existence of a macroflora for the period and the possibility of wetter paleoclimatic conditions, contrary to the arid lithofacies reported on the top of the section.

Keywords: Palynofacies; Palynomorphs; Biostratigraphy; Permocarboniferous.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa geológico da área de estudo, com a localização do Poço UN-09-PI (Caxias, MA) e os cinco afloramentos selecionados (Amarante, PI). Produzido com dados da CPRM (2004)..... 13
- Figura 2. Perfil litológico do Poço UN-09-PI (Caxias, MA), elaborado com base na descrição de Leite *et al.* (1975) e Abelha (2008). As amostras analisadas estão demarcadas no perfil..... 14
- Figura 3. Coluna estratigráfica do Grupo Balsas (modificado de Souza *et al.*, 2010 com base em Vaz *et al.*, 2007)..... 16
- Figura 4. Zoneamento palinológico vigente para a Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000a, b). Modificado de Playford & Dino, 2000b. 21
- Figura 5. Exemplos de constituintes do querogênio oriundos do poço 1-UN-09-PI. A) matéria orgânica amorfa (MOA); B) fitoclasto; C) palinomorfo (alga *Leiosphaeridea*). 26
- Figura 6. Processamento laboratorial realizado. A) 1º fase: fragmentação das amostras; B) seleção de aproximadamente 20 gramas de material fragmentado; C) condicionamento em béqueres de plástico, devidamente identificados; D) disposição dos béqueres em capelas com exaustor..... 27
- Figura 7. Processamento laboratorial. A) Fase de concentração do resíduo rico em material palinológico (peneiramento). B - D) Confecção de lâminas para análise microscópica. 28
- Figura 8. Fase de análise microscópica em laboratório. A) lâmina sobre microscópio em luz branca transmitida; B) análise microscópica em desenvolvimento; C) Microscópio utilizado para as análises: Olympus CX31; D) campo de visão do microscópio sob luz branca transmitida..... 29
- Figura 9. Diagrama ternário Fitoclasto-MOA-Palinomorfo utilizado na definição de palinofácies em seções marinhas com os respectivos campos de paleoambiente correspondentes à deposição de matéria orgânica (extraído e modificado de Menezes *et al.*, 2008 com base em Tyson, 1993, 1995). 34
- Figura 10. Fotomicrografias, estampa 1 (escala: 20 µm). 1. *Calamorphora brev irradiata* MP-P 14357, W28-1; 2. *C. hartungiana* MP-P 14349, S44-2; 3. *C. spp.* MP-P 14352, G39-4; 4. *Raistrickia cephalata* MP-P 14353, A42; 5. *Apiculatasporites daemonii* MP-P 14362, H33-4; 6. *Vallatisporites arcuatus* MP-P 14352, R60; 7. *Endosporites globiformes* MP-P 14353, C32; 8. *Endosporites globiformes* MP-P 14353, E51; 9. *Florinites occultus* MP-P 14359, H56; 10. *Cannanoropollis janakii*

MP-P 14352, S57-1; 11. *C. mehta* MP-P 14355 L50; 12. *Plicatipollenites malabarensis* MP-P 14351, F30-1.40

Figura 11. Fotomicrografias, estampa 2 (escala: 20 µm). 1. *Plicatipollenites gondwanensis* MP-P 14353, D55; 2. *P. gondwanensis* MP-P 14347, X14-2; 3. *Caheniasaccites verrucosus* MP-P 14362, L34-2; 4. *C. flavatus* MP-P 14353, L42-4; 5. *Potonieisporites novicus* MP-P 15461, 052-2; 6. *P. lelei* MP-P 14352, J42; 7. *P. novicus* MP-P 14361, M23-2; 8. *P. triangulatus* MP-P 14353, L42-2; 9. *Mabuitasaccites crucistriatus* MP-P 14358, Q13-1; 10. *M. crucistriatus* MP-P 14354, J38-4. 11. *Meristocarpus explicatus* MP-P 14354, J20-1; 12. *M. ostentus* MP-P 14361, V26-3; 13. *Striomonosaccites ovatus* MP-P 14354 G16-3; 14. *S. cf. incrassatus* MP-P 14353, M44; 15. *Limitisporites amazonensis* MP-P 14361, N52-2.41

Figura 12. Fotomicrografias, estampa 3 (escala: 20 µm). 1. *Distriatites insolitus* MP-P 14353, P29-1; 2. *Hamiapollenites cf. fusiformes* MP-P 14354, B39-3; 3. *H. cf. fusiformes* MP-P 14357, G44-2; 4. *Protohaploxylinus amplus* MP-P 14354, A37; 5. *Striatoabieites bricki* MP-P 14359, T54; 6. *S. cf. anaverrucosus* MP-P 14357, J52; 7. *S. spp.* MP-P 14361, E49-1; 8. *Striatopodocarpites cf. fusus* MP-P 14353, M46; 9. *S. phaleratus* MP-P 14353, E43-1; 10. *S. cf. fusus* MP-P 14353, U44; 11. *S. spp.* MP-P 14354, X38; 12. *Striatoabieites spp.* MP-P 14357, B53; 13. *Marsupipollenites sp. cf. striatus* MP-P 14354, R18-3; 14 e 15. *Leiosphaeridea sp.* MP-P 14352, M43; MP-P 14355, B39-3.....42

Figura 13. Histogramas com as proporções de MOA, fitoclastos e palinomorfos, e possíveis agrupamentos para o intervalo estudado e o perfil litológico do Poço 1-UN-09-PI.....44

Figura 14. Histogramas com os percentuais de cada elemento analisado em relação à profundidade no intervalo amostrado do Poço 1-UN-09-PI.....47

Figura 15. Diagrama ternário MOA - FITOCLASTO - PALINOMORFO para o intervalo de 110 a 180 metros do Poço 1-UN-09-PI. Os números de 1 a 12 representam os níveis amostrados, do topo para a base do intervalo. Baseado no Diagrama MOA-FITOCLASTO-PALINOMORFO para ambientes marinhos de Menezes *et al.* (2008).....49

Figura 16. Quadro de distribuição de táxons extraído e modificado de Playford & Dino (2000 b), com a indicação dos táxons registrados no presente trabalho. Em vermelho os táxons restritos à Zona *Raistrickia cephalata*; em verde os táxons pertencentes à Zona; em amarelo os táxons cuja amplitude não é registrada na Zona *Raistrickia cephalata*.51

Figura 17. Reconstrução paleogeográfica para o período Moscoviano, com a localização da área de estudo representada pela estrela no mapa. Extraído e modificado de Scotese (2014).....52

Figura 18. Blocos-diagramas ilustrativos dos ambientes deposicionais interpretados para os intervalos de base e topo do Poço 1-UN-09-PI, com as respectivas associações paleoflorísticas.55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação da matéria orgânica particulada (baseado em Tyson 1995, Mendonça Filho, 1999, Mendonça Filho *et al.* 2002). Extraído e modificado de Menezes *et al.* (2008).....31

Quadro 2. Ficha de controle elaborada e utilizada para análise quantitativa de palinofácies, com base na metodologia proposta por Tyson (1995).....32

Quadro 3. Percentagens de MOA, fitoclastos e palinomorfos registrados para cada nível amostrado.....45

Quadro 4. Percentagem de fitoclastos opacos e não opacos, e a razão de fitoclastos opacos sobre não opacos para cada nível amostrado.45

Quadro 5. Quadro com a distribuição em percentagem de todos os elementos, por nível.....46

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE QUADROS.....	8
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMÁTICA	11
1.2 JUSTIFICATIVA	11
1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	12
2 MATERIAL, ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA	13
2.1 BACIA DO PARNAÍBA.....	15
2.2 GRUPO BALSAS: CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO E PALEONTOLÓGICO	15
2.2.1 FORMAÇÃO PIAUÍ.....	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 PALINOLOGIA	19
3.1.1 PALINOESTRATIGRAFIA.....	20
3.2 PALINOFÁCIES	25
3.2.1 GRUPOS E SUBGRUPOS DO QUEROGÊNIO.....	25
4 MÉTODOS E TÉCNICAS ANALÍTICAS	27
4.1 PROCESSAMENTO LABORATORIAL.....	27
4.2 ANÁLISE TAXONÔMICA E FOTODOCUMENTAÇÃO	29
4.3 ANÁLISE PALINOFACIOLÓGICA.....	30
5 RESULTADOS.....	35
5.1 TAXONÔMICOS	35
5.1.1 ESPOROS.....	35

5.1.2	GRÃOS DE PÓLEN.....	37
5.1.3	ALGAS CLOROFÍCEAS.....	39
5.1.4	FUNGOS.....	39
5.2	PALINOFACIOLÓGICOS.....	43
6	DISCUSSÕES.....	49
6.1	POSICIONAMENTO BIOCRONOESTRATIGRÁFICO	49
6.2	PALEOAMBIENTES	52
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

Estudos de caráter palinológico e estratigráfico tem sido amplamente empregados em diversas bacias sedimentares brasileiras, sobretudo naquelas que apresentam potencial para recursos energéticos. Tal situação se deve ao fato de que esses estudos podem permitir uma correlação mais refinada entre camadas por toda a extensão de suas respectivas bacias sedimentares e unidades adjacentes, proporcionando um melhor entendimento das relações estratigráficas e espaciais de seus depósitos (ANTUNES & AZEVEDO, 2011).

A Bacia do Parnaíba, uma das mais importantes bacias sedimentares paleozoicas, vem sendo alvo de interesse de companhias de energia ao longo dos anos, o que tem possibilitado seu estudo mais detalhado em subsuperfície (GÓES & FEIJÓ, 1994; BARBOSA *et al.*, 2016). No entanto, são escassos os dados palinológicos à disposição, sobretudo para a Formação Piauí (DINO & PLAYFORD, 2002; SOUZA *et al.*, 2010). Por conta disso, as pesquisas palinológicas ainda estão em processo de desenvolvimento.

Portanto, o presente projeto busca contribuir para o conhecimento da palinologia e palinoestratigrafia do Intervalo Carbonífero Superior da Bacia do Parnaíba, apoiado na caracterização faciológica do Poço 1-UN-PI-09 estudado preliminarmente por Abelha (2008) e Souza *et al.* (2010), localizado na borda leste da Bacia, assim como propor um modelo paleoambiental para o intervalo selecionado com base no estudo de palinofácies.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como supradescrito, são escassos os dados palinológicos do intervalo Permocarbonífero da Bacia do Parnaíba. Por conta disso, essa pesquisa irá contribuir com o registro palinológico para a unidade, com ampliação de táxons, interpretação paleoambiental como subsídios para, futuramente, a criação de biozonas. Trata-se de um trabalho inédito para a unidade no intervalo selecionado, pois integra dados palinofaciológicos com os modelos já existentes que atribuem em geral um contexto transicional marinho raso para o topo da Fm. Piauí (ABELHA, 2008; BARBOSA *et al.* 2016), buscando-se contribuir para seu aprimoramento.

1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Este trabalho objetiva o estudo palinológico da Formação Piauí, base do Grupo Balsas (Pennsylvaniano da Bacia do Parnaíba) buscando o posicionamento bioestratigráfico e a determinação paleoambiental.

Os objetivos específicos são:

- Identificar e registrar os microfósseis de parede orgânica (palinomorfos);
- Avaliar o potencial bioestratigráfico;
- Posicionar biocronoestratigraficamente o intervalo selecionado;
- Contribuir no conhecimento da dinâmica sedimentar e dos paleoambientes relacionados, a partir da determinação de palinofácies e da integração com dados de outras ferramentas geocientíficas.

2 MATERIAL, ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

A área selecionada para o presente estudo corresponde à borda leste da Bacia do Parnaíba, nos estados do Maranhão e Piauí, na qual a aquisição de dados se deu por meio de amostras oriundas do intervalo de 110,60 m e 178,12 m do Poço 1-UN-09-PI, perfurado na Fazenda Brejinho (4°45' S – 42°59' W) (Caxias, MA), e de cinco afloramentos localizados no Município de Amarante (PI) Figura 1.

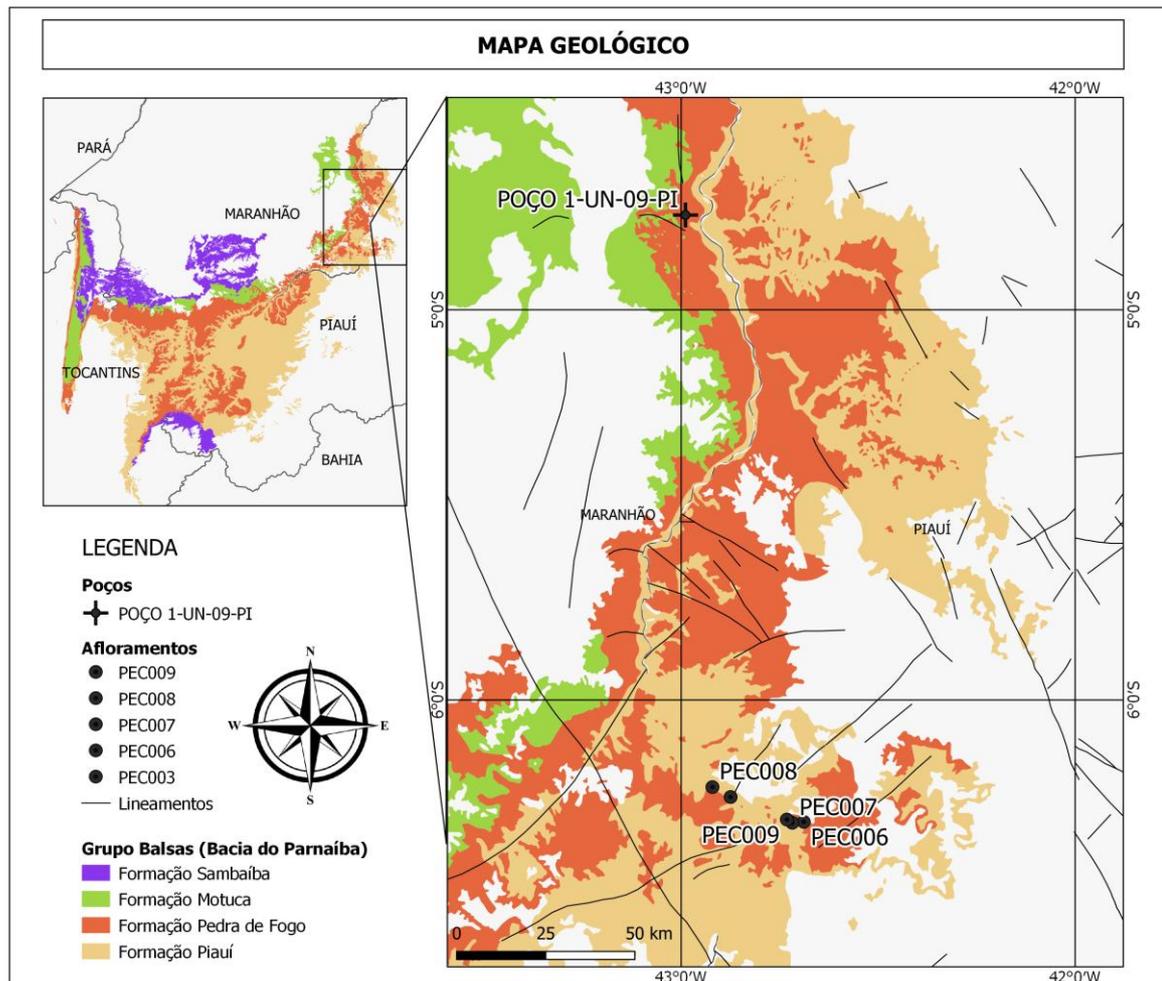


Figura 1. Mapa geológico da área de estudo, com a localização do Poço UN-09-PI (Caxias, MA) e os cinco afloramentos selecionados (Amarante, PI). Produzido com dados da CPRM (2004).

Tanto o intervalo do poço selecionado, quanto os afloramentos correspondem à Formação Piauí. Como descrito no Projeto Prévio (TEMÁTICO I), a viabilidade da realização de trabalho de campo esteve sujeita ao suporte financeiro. Como não ocorreu subsídio, as amostras e a descrição de fácies dos afloramentos foram realizadas pelo Geol. Doutorando em Estratigrafia Carrel Kifumbi e Prof. Orientador Claiton Marlon dos Santos Scherer. Quanto às amostras do poço, essas foram coletadas e estudadas

anteriormente por Souza *et al.* (2010), os quais desenvolveram um trabalho com foco em biocronoestratigrafia. Tal poço é oriundo do Projeto “Carvão da Bacia do Parnaíba” (LEITE *et al.*, 1975), desenvolvido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral e a Companhia de Recursos Minerais (DNPM/CPRM) (Figura 2).

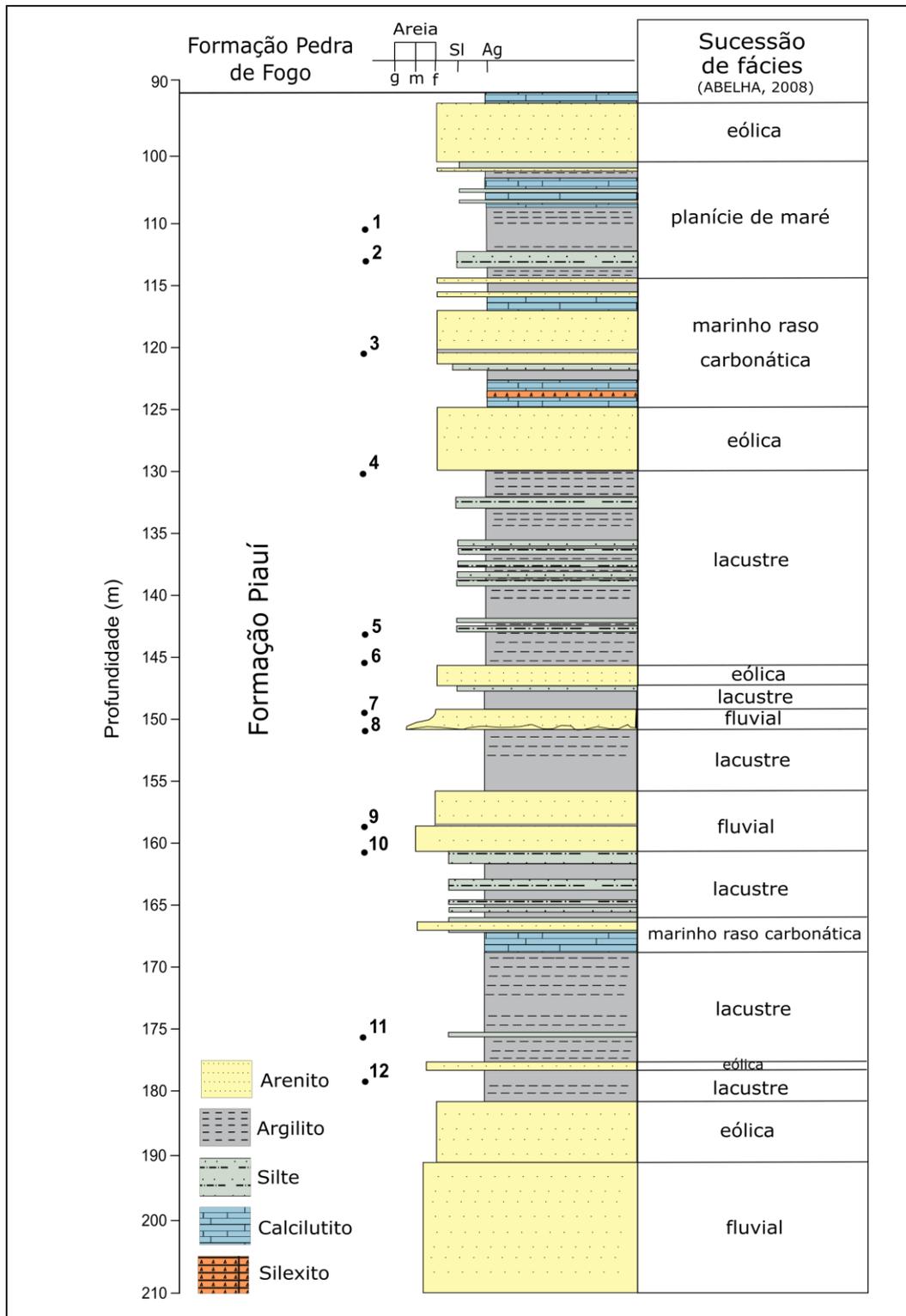


Figura 2. Perfil litológico do Poço UN-09-PI (Caxias, MA), elaborado com base na descrição de Leite *et al.* (1975) e Abelha (2008). As amostras analisadas estão demarcadas no perfil.

2.1 BACIA DO PARNAÍBA

A Bacia do Parnaíba, localizada na região norte-nordeste do Brasil, compreende os estados do Piauí, Maranhão, Tocantins, Ceará e Bahia, em uma área de aproximadamente 600 km² (GÓES & FEIJÓ, 1994). Integrante do grupo de bacias paleozoicas brasileiras, é constituída por sequências vulcano-sedimentares depositadas sob um embasamento de intervalo Arqueano-Ordoviciano, com origem atrelada aos estágios finais e pós-orogênicos do Ciclo Brasileiro (VAZ *et al.*, 2007).

Com base em sua origem, estilo tectônico e preenchimento sedimentar, a bacia foi compartimentada em quatro sub-bacias: Parnaíba (Siluriano – Triássico), Alpercatas (Jurássico – Eocretácea), São Luís/Grajaú (Cretáceo) e Espigão Médio (Cretáceo) (GÓES, 1995). No entanto, o entendimento mais atual adota a denominação de Bacia de São Luís-Grajaú para as bacias de São Luís e Grajaú, sendo que apresentam evolução tectono-sedimentar semelhantes (ROSSETTI *et al.*, 2001 *apud* SANTOS & CARVALHO, 2009). Já do ponto de vista da estratigrafia de sequências, Vaz *et al.* (2007) descrevem a existência de cinco supersequências desenvolvidas em um único contexto, da base para o topo: Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana - Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera - Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Formação Pastos Bons) e Cretácea (formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru). A unidade mais antiga, Parnaíba (GÓES, 1995), é uma bacia de sinéclise intracratônica, que comporta a Sequência Neocarbonífera-Eotriássica (VAZ *et al.*, 2007), ocorrente nas regiões central e sudoeste da Bacia (Grupo Balsas).

2.2 GRUPO BALSAS: CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO E PALEONTOLÓGICO

O Grupo Balsas (Neocarbonífero-Eotriássico) é caracterizado por unidades litoestratigráficas que representam, no geral, uma transição de ambiente marinho raso de clima árido para continental desértico dominado por sistemas lacustres (GÓES & FEIJÓ, 1994; LIMA FILHO, 1991; CUNHA, 1986 *apud* DINO & PLAYFORD, 2002; BARBOSA *et al.*, 2016). É constituído por rochas de natureza clástica-evaporítica, sendo que, da base para o topo, é integrado pelas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba (Figura 3).

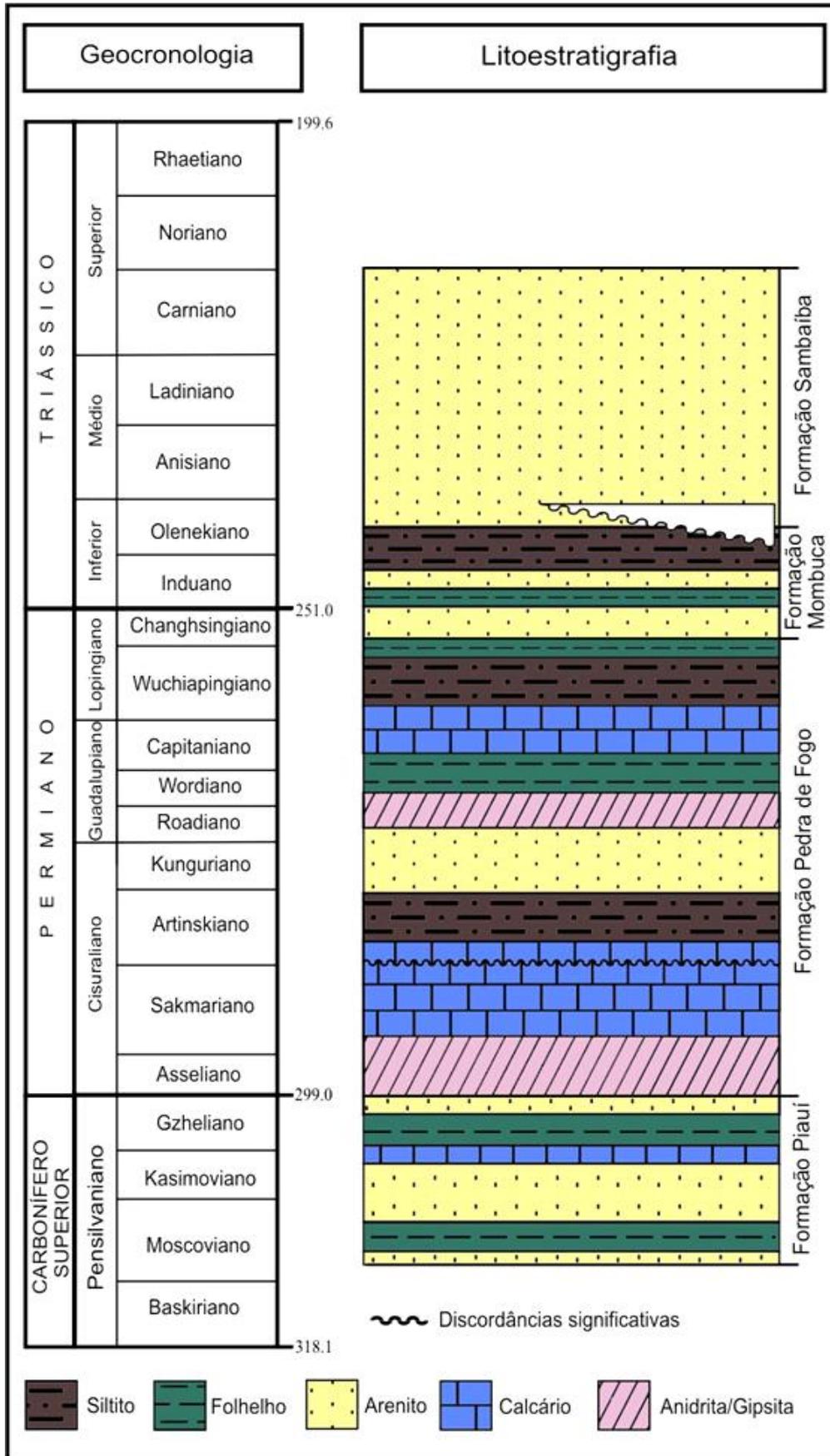


Figura 3. Coluna estratigráfica do Grupo Balsas (modificado de Souza *et al.*, 2010 com base em Vaz *et al.*, 2007).

Palinologia da Formação Piauí (Pensilvaniano), Grupo Balsas, Borda Leste da Bacia do Parnaíba: palinoestratigrafia e paleoambientes

Baseado no conceito de estratigrafia de seqüências, Barbosa *et al.* (2016) identificaram três seqüências deposicionais separadas por discordâncias no Grupo Balsas: Sequência Depositional 1 (SEQ1), Sequência Depositional 2 (SEQ2) e Sequência Depositional 3 (SEQ 3).

A Sequência Depositional 1 (SEQ1) corresponde ao intervalo Eocarbonífero – Mesopermiano, formações Piauí e Pedra de Fogo, e é formada por tratos de sistemas sucessivos: T. S. de Nível Baixo (TSNB), T. S. Transgressivo (TST), T. S. de Nível Alto (TSNA) e T. S. de Regressão Forçada (TSRF). O TSNB foi caracterizado por constituir ciclos fluviais, com predominância de arenitos sob folhelhos localizados no topo de cada ciclo, em arranjo progradacional. Enquanto que o TST, sotoposto, é representado por uma fina camada de calcário e evaporito, cerca de 3 m, indicando a incursão marinha. A passagem do TST para o TSNA é marcada pela Superfície Transgressiva Máxima 1 (STM1), representada por uma camada de folhelho com valores superiores em perfis de raios-gama, que marca a mudança no padrão de empilhamento, de retrogradacional para progradacional. O TSNA representa os estágios finais da deposição marinha, com regressão da linha de costa e aumento da aridez, é formado por rochas siliciclásticas na base e espessas camadas de evaporitos no topo. Ao final da seqüência, a mudança para o TSRF é relacionada a alterações bruscas de fácies, evaporítica (TSNA) para siliciclástica (TSRF), que definem a Superfície Basal de Regressão Forçada (SBRF). Em síntese, essa seqüência representa a evolução de três sistemas deposicionais: fluvial, marinho raso e deltaico. O intervalo Neopermiano-Eotriássico corresponde à deposição da Sequência Depositional 2 (SEQ2), relativa à deposição da parte superior da Formação Pedra de Fogo, seguida pela Formação Motuca. Essa seqüência representa um sistema lacustre/desértico com *sabkhas*, sendo compartimentada em três tratos de sistemas, TSNB, TST e TSNA. O padrão de empilhamento progradacional predominante na seqüência diminui gradativamente a quantidade evaporitos e carbonatos em direção ao topo, indicando uma continentalização da bacia. Por fim, a Sequência 3 (SEQ3) encerra um grande ciclo regressivo (Sequência Neocarbonífera – Eotriássica, Grupo Balsas), sendo caracterizada pelo fim da deposição de sedimentos de origem marinha/costeira e lacustre (continental) e início de um sistema eólico/desértico (Formação Sambaíba).

Nas formações Motuca e Sambaíba predominam rochas siliciclásticas, principalmente arenitos, portanto é menor potencialidade para recuperação de

palinómorfos nessas unidades. Dessa forma, os esforços foram empregados na unidade basal do Grupo Balsas (Formação Piauí), cujo histórico lhe é mais favorável.

2.2.1 FORMAÇÃO PIAUÍ

De idade pennsylvaniana, a Formação Piauí se encontra sotoposta discordantemente à Formação Poti (Mississípiano), e é composta principalmente por arenitos, calcários e folhelhos depositados em condições de severa aridez (GÓES & FEIJÓ, 1994; VAZ *et al.*, 2007). Caracteriza sistemas eólicos, fluviais e marinhos rasos em ambiente costeiro (LIMA FILHO, 1991; ABELHA, 2008; BARBOSA *et al.*, 2016; VIEIRA *et al.*, 2017).

Com base em estratigrafia de sequências, Vieira *et al.* (2017) reconheceram oito sequências deposicionais de alta frequência para a Formação Piauí, que são delimitadas por discordâncias subaéreas e subdivididas em TSNB, TST e TSNA. Já Abelha (2008) desenvolveu uma análise litofaciológica do Poço 1-UN-09-PI, onde reconheceu 13 fácies sedimentares, agrupadas em associações de fácies. No caso do intervalo selecionado para o presente estudo (110,6 – 178,12 m), a autora reconheceu seis sucessões, que foram interpretadas da base para o topo como depósitos eólicos intercalados com lacustres e incursões marinhas, seguidos por associações lacustres, fluviais e eólicas, que gradam novamente para um sistema marinho raso e de planícies de marés salinas (*sabkhas* costeiros) no topo (Figura 2).

Diferente da primeira descrição realizada por Leite *et al.* (1975), a autora interpreta os níveis com sílex como sendo carbonatos, mais precisamente calcilutitos com registros de anidrita, esteiras microbianas e estruturas de dissolução, atribuindo um contexto marinho raso carbonático, com influência de maré, em alguns intervalos no topo da Formação Piauí, interpretados como sistemas deltaicos por Lima Filho (1991) e Medeiros (2015).

Em relação ao conteúdo paleontológico, na base da formação, ocorrem característicos arenitos com estratificação cruzada acanalada com perfurações de icnofósseis (SANTOS & CARVALHO, 2009) e nos depósitos do topo da formação, no Calcário Mocambo, ocorre uma fauna marinha bastante diversificada dominada por moluscos, principalmente bivalves e braquiópodes, anelídeos, foraminíferos, conodontes, trilobitas, fragmentos de peixes, entre outros grupos (KEGEL, 1951; KEGEL & COSTA, 1951 *apud* CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS, 1979; LIMA FILHO, 1991, ASSIS,

1979 *apud* ANELLI, 1994; ANELLI, 1999; CAPUTO *et al.*, 2005). Há, também, registros de macroflora nessa formação, frondes de *Pecopteris* sp. (DOLIANITI, 1972) e restos de esfenófitas (*Calamites*) (CAPUTO *et al.*, 2005).

Em termos palinológicos, as informações disponíveis são muito localizadas. Dino & Playford (2002) estudaram a porção basal da Formação Piauí, enquanto Souza *et al.* (2010) estudaram o intervalo superior dessa unidade através de amostras de testemunho de sondagem na localidade de Caxias (MA) (Poço 1-UN-09-PI). No primeiro trabalho, os autores identificaram principalmente espécies de esporos como *Spelaeotriletes*, *Vallatisporites* e *Cristatisporites*, o que permitiu a associação com a Zona *Illinites unicus* da Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000 b) datado no Pennsylvaniano. Já o trabalho de Souza *et al.* (2010), da porção mais jovem, identificou a presença de matéria orgânica amorfa, fitoclastos e palinomorfos, com predomínio de grãos de pólen bissacados teniados, esporos subordinados e microplâncton marinho. Ao todo, os autores registraram 29 espécies de palinomorfos, que por correlação ao zoneamento vigente na bacia vizinha, posicionaram o intervalo superior da Formação Piauí na Zona *Raistrickia cephalata* (PLAYFORD & DINO, 2000 a, b), Moscoviano Superior.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PALINOLOGIA

A paleopalinologia é a ciência que estuda micro-organismos fósseis constituídos de parede orgânica (palinomorfos) como grãos de pólen, esporos, acritarcos, quitinozoários, algas, dinoflagelados e palinoforaminíferos, além de matéria orgânica amorfa e particulada (fitoclastos). A partir dela, é possível comprovar a existência e atuação da vida de microfósseis durante a sedimentação, qualificando os sítios paleoecológicos necessários para a ocorrência e/ou deposição dos organismos.

Com registro do final do Proterozoico ao Recente, os palinomorfos são classificados com base em aspectos morfológicos como estrutura da exina, aberturas, forma, simetria, ornamentação e dimensões. A partir da classificação taxonômica, é possível determinar afinidades paleoflorísticas para grãos de pólen e esporos, que podem indicar condições paleoecológicas e paleoclimáticas dos depósitos (CRUZ, 2011).

No presente projeto o estudo palinológico seguiu duas linhas metodológicas: análise taxonômica e palinofaciológica. A primeira possibilita a definição de um intervalo

biocronoestratigráfico para a unidade, já a segunda permite interpretações paleoambientais.

3.1.1 PALINOESTRATIGRAFIA

A metodologia aplicada ao posicionamento palinoestratigráfico é configurada em etapas, inicia com a caracterização taxonômica e termina com tabelas de distribuição estratigráfica e posicionamento dos intervalos selecionados. Nesse projeto, a análise taxonômica foi realizada por meio de comparações com trabalhos já publicados, tendo como base critérios morfológicos como ornamentação, estrutura e dimensões. No caso, foram utilizadas referências locais, regionais e internacionais. Para a localidade em questão, fora utilizado como critério de posicionamento o zoneamento vigente para a bacia vizinha, Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000 a, b), e resultados de trabalhos já publicados como o de Dino & Playford (2002) e Souza *et al.* (2010).

O biozoneamento proposto para Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000 a, b) é referente ao Grupo Alto Tapajós, formações: Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá. Ao todo os autores definiram sete palinozonas, da mais antiga para a mais jovem: Zona *Spelaeotriletes triangulus*, Zona *Striomonosaccites incrassatus*, Zona *Illinites unicus*, Zona *Striatosporites heyleri*, Zona *Raistrickia cephalata*, Zona *Vittatina costabilis* e Zona *Tornopollenites toreutos* (Figura 4).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	PALINOZONAS (PLAYFORD & DINO, 2000 a, b)	
PALEOZOICO	PERMIANO	Lopingiano	<i>Tornopollenites toreutos</i>	
		Guadalupiano	<i>Vittatina costabilis</i> (parte superior)	
		Cisuraliano	<i>Vittatina costabilis</i> (parte inferior)	
	CARBONÍFERO	Pennsylvaniano		?
				<i>Raistrickia cephalata</i>
				<i>Striatosporites heyleri</i>
				<i>Illinites unicus</i>
				<i>Striomonosaccites incrassatus</i>
				<i>Spelaeotriletes triangulus</i>
		Mississipiano		

Figura 4. Zoneamento palinológico vigente para a Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000 a, b). Modificado de Playford & Dino, 2000 b.

Como supradescrito no item 2.2.1 do presente documento, já existem resultados palinológicos para a Fm. Piauí, tanto do intervalo basal (DINO & PLAYFORD, 2002), quanto do intervalo de topo (SOUZA *et al.*, 2010).

Dino & Playford (2002) usaram como critério para correlação com a Zona *Illinites unicus* da Bacia do Amazonas, a abundância de espécimes de esporos triletes cavados / pseudosacados (*Spelaeotriletes triangulus*, *S. arenaceous*, *Vallatisporites* e *Cristatisporites*), assim como grãos de pólen monossacados. Apesar de registrarem *Raistrickia cephalata*, Dino & Playford (2002) questionam o uso de tais táxons como

guias, por esses serem menos abundantes em relação à Bacia do Amazonas. Adicionalmente, contribuíram com o registro de espécies como *Meristocarpus ostentus* e *Lahirites segmentatus*.

Em comparação ao trabalho de Souza *et al.* (2010), os autores não registraram *Limitisporites amazonensis*, que de acordo com Playford & Dino (2000 b) tem seu aparecimento registrado na Zona *Raistrickia cephalata*. Souza *et al.* (2010) utilizaram como critério para posicionamento bioestratigráfico principalmente a amplitude de determinados táxons como *Raistrickia cephalata*, que é restrita à Zona *Raistrickia cephalata*, e *Limitisporites amazonensis*, cujo desaparecimento é registrado na base da Zona *Vittatina costabilis*.

Como o presente estudo consiste em uma reavaliação do posicionamento bioestratigráfico de Souza *et al.* (2010), são consideradas os 29 táxons registrados pelos autores, que são:

ESPOROS

Anteturma PROXIMEGERMINANTES R. Potonié, 1970

Turma TRILETE Reinsch *emend.* Dettmann, 1963

Suprasubturma ACAVATITRILETES Dettmann, 1963

Subturma AZONOTRILETES Luber *emend.* Dettmann, 1963

Infraturma LAEVIGATI Bennie & Kidston *emend.* R. Potonié, 1956

Calamospora breviradiata Kosanke, 1950

Calamospora hartungiana Schopf in Schopf, Wilson & Bentall, 1944

Punctatisporites sp.

Infraturma APICULATI Bennie & Kidston *emend.* R. Potonié, 1956

Subinfraturma NODATI Dybová & Jachowicz, 1957

Apiculatasporites daemonii Playford & Dino, 2000

Suinfraturma BACULATI Dybová & Jachowicz, 1957

Raistrickia cephalata Bharadwaj, Kar & Navale, 1976

Suprasubturma PSEUDOSACCITRILETES Richardson, 1965

Infraturma MONOPSEUDOSACCITI Smith & Butterworth, 1967

Spelaeotriletes arenaceus Neves & Owens, 1966 (Figura 4.A)

Spelaeotriletes triangulus Neves & Owens, 1966

Velamisporites sp.

Turma MONOLETES Ibrahim, 1933

Suprasubturma ACAVATOMONOLETES Dettmann, 1963

Subturma AZONOMONOLETES Luber, 1935

Infraturma LAEVIGATOMONOLETI Dybová & Jachowicz, 1957

Laevigatosporites ovatus Wilson & Webster, 1946

GRÃOS DE PÓLEN

Anteturma VARIEGERMINANTES R. Potonié, 1970

Turma SACCITES Erdtman, 1947

Subturma MONOSACCITES Chitaley *emend.* R. Potonié & Kremp, 1954

Infraturma TRILETESACCITI Leschik, 1955

Cannanoropollis janakii R. Potonié & Sah, 1960

Plicatipollenites gondwanensis (Balme & Hennelly) Lele, 1964

Plicatipollenites malabarensis (R. Potonié & Sah) Foster, 1975

Infraturma VESICULOMONORADITI Pant, 1954

Caheniasaccites flavatus Bose & Kar *emend.* Azcuy & Di Pasquo, 2000

Costatascyclus crenatus Felix & Burbridge *emend.* Urban, 1971

Crucisaccites sp.

Potonieisporites barrelis Tiwari, 1965

Potonieisporites congoensis Bose & Maheshwari, 1968

Potonieisporites lelei Maheshwari, 1967

Potonieisporites novicus Bhardwaj *emend.* Poort & Veld, 1997

Potonieisporites triangulatus Tiwari, 1965

Infraturma STRIASACCITI Bharadwaj, 1962

Meristocarpus explicatus Playford & Dino, 2000

Striomonosaccites incrassatus Playford & Dino, 2000

Subturma DISACCITES Cookson, 1947

Infraturma DISACCITRILETI Leschik, 1955

Limitisporites amazonensis Playford & Dino, 2000

Infraturma STRIATITI Pant, 1954

Illinites unicus Kosanke *emend.* Jansonius & Hills, 1976

Lunatisporites onerosus Playford & Dino, 2000

Protohaploxypinus amplus (Balme & Hennelly) Hart, 1964

Striatopodocarpites spp.

Verticipollenites sp.

ALGAS CLOROFÍCEAS

Divisão PRASINOPHYTA Round, 1971

Ordem PYRAMIMONADALES Schiller, 1925

Família LEIOSPHAERIDACEAE Sommer *emend.* Sommer & Van Boekel, 1963

Leiosphaeridia sp.

3.2 PALINOFÁCIES

O termo palinofácies foi introduzido por Combaz (1964) (*apud* MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010) durante um importante cenário de avanço em pesquisas geoquímicas na área petrolífera, sendo definido como o estudo de toda a matéria orgânica presente no resíduo final do processamento palinológico. Hughes & Moody-Stuart (1967) (*apud* MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010) seguiram a mesma linha de raciocínio de Combaz (1964) e criaram o termo fácies palinológicas, para descrever o estudo de todos os elementos orgânicos concentrados após o tratamento químico da rocha.

Atualmente, seu estudo é visto como imprescindível para o entendimento do ambiente como um todo, das condições deposicionais à maturação térmica, e potencial de rochas geradoras de hidrocarbonetos (TYSON, 1995; MENEZES, *et al.*, 2008; MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010). Apesar disso, não existem publicações de caráter palinofaciológico no intervalo Permocarbonífero da Bacia do Parnaíba (Grupo Balsas).

Quando usado de forma integrada com dados geológicos e geofísicos, o estudo de palinofácies é considerado uma poderosa ferramenta analítica (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010). Além de se destacar na multidisciplinariedade empregada, objetiva classificar os componentes palinológicos de forma individual, assim como os grupos e subgrupos do querogênio, determinando proporções relativas considerando características como tamanho, forma e estado de preservação (MENEZES *et al.*, 2008).

3.2.1 GRUPOS E SUBGRUPOS DO QUEROGÊNIO

3.2.1.1 Matéria Orgânica Amorfa

O Grupo da matéria orgânica amorfa (MOA) abrange todos os elementos sem estrutura definida, derivados de bactérias, fitoplâncton, resinas de vegetais e agregados orgânicos degradados (Figura 5). Sua abundância no registro é interpretada como característica de sítios deposicionais sob condições redutoras, que possibilitam o aumento da preservação. Outra interpretação é associada aos ambientes de baixa energia, sendo que nesses sítios deposicionais ocorre acentuada dissolução por esporoformas e fitoclastos (TYSON, 1993; TYSON 1995; MENDONÇA FILHO, 1999; MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010).

3.2.1.2 Fitoclastos

Fitoclastos são elementos derivados de vegetais superiores ou fungos, descritos inicialmente por Bostick (1971) (*apud* MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010) como todas as partículas de tamanho argila ou areia fina constituintes do querogênio (Figura 5). São classificados em: opacos, não opacos, tecidos cuticulares e hifas de fungos. As características físicas desse grupo são classificadas de acordo com as formas dos componentes, inferindo processos de degradação ou decomposição. Esses dois processos de modificação da matéria orgânica estão diretamente relacionados com as condições do ambiente deposicional, ambientes mais oxidantes resultarão em diminuição da preservação e aumento da degradação no registro palinofaciológico (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010).

3.2.1.3 Palinomorfos

Como já descritos anteriormente nesse trabalho, palinóforos são microorganismos constituídos de parede orgânica. Esse grupo abrange esporos, grãos de pólen e demais elementos microplancetônicos, sendo que para o estudo palinofaciológico é subdividido em três grupos: esporomorfos, microplâncton de parede orgânica e zoomorfos (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010) (Figura 5).

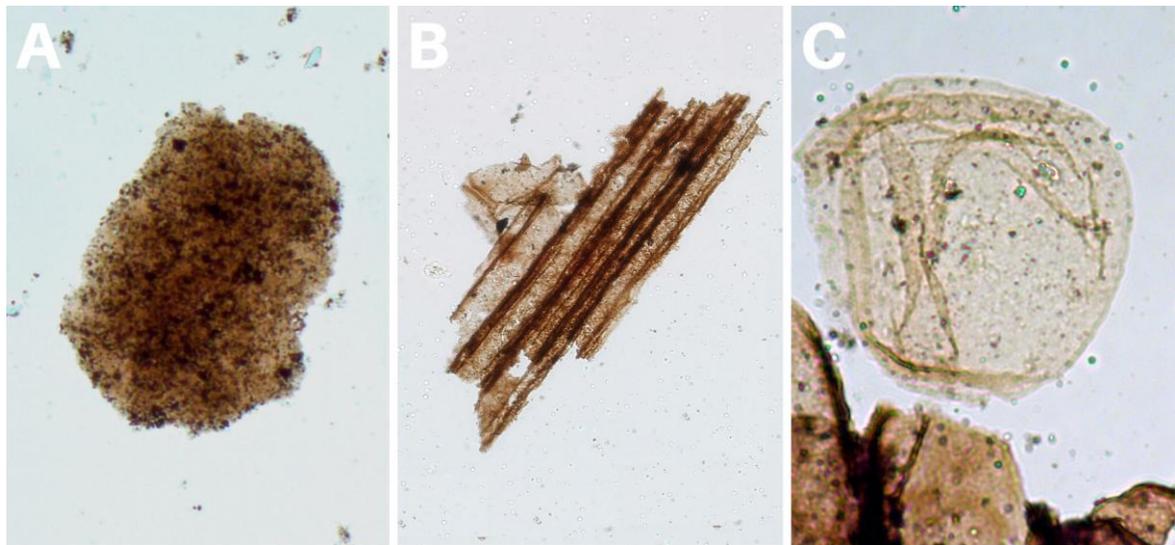


Figura 5. Exemplos de constituintes do querogênio oriundos do poço 1-UN-09-PI. A) matéria orgânica amorfa (MOA); B) fitoclasto; C) palinomorfo (alga *Leiosphaeridea*).

4 MÉTODOS E TÉCNICAS ANALÍTICAS

4.1 PROCESSAMENTO LABORATORIAL

O processamento laboratorial das amostras para palinologia foi realizado no Laboratório de Palinologia Marleni Marques-Toigo, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências (UFRGS), com base na metodologia padrão proposta para rochas sedimentares paleozoicas (QUADROS & MELO, 1987), que consiste em sucessivos ataques químicos com o objetivo de desintegrar a rocha e obter um concentrado rico em matéria orgânica.

A primeira etapa desse método consiste na desagregação física de cerca de 20 g de amostra de rocha. O material triturado foi selecionado através de peneiras com malha de 2,83 mm, pois fragmentos de maiores dimensões dificultam a dissolução química. O conteúdo obtido foi identificado de acordo com a codificação do Laboratório de Palinologia Marleni Marques-Toigo e condicionado em béqueres de plástico, que são mantidos em capelas com exaustor onde são submetidos a ataques químicos (Figura 6).

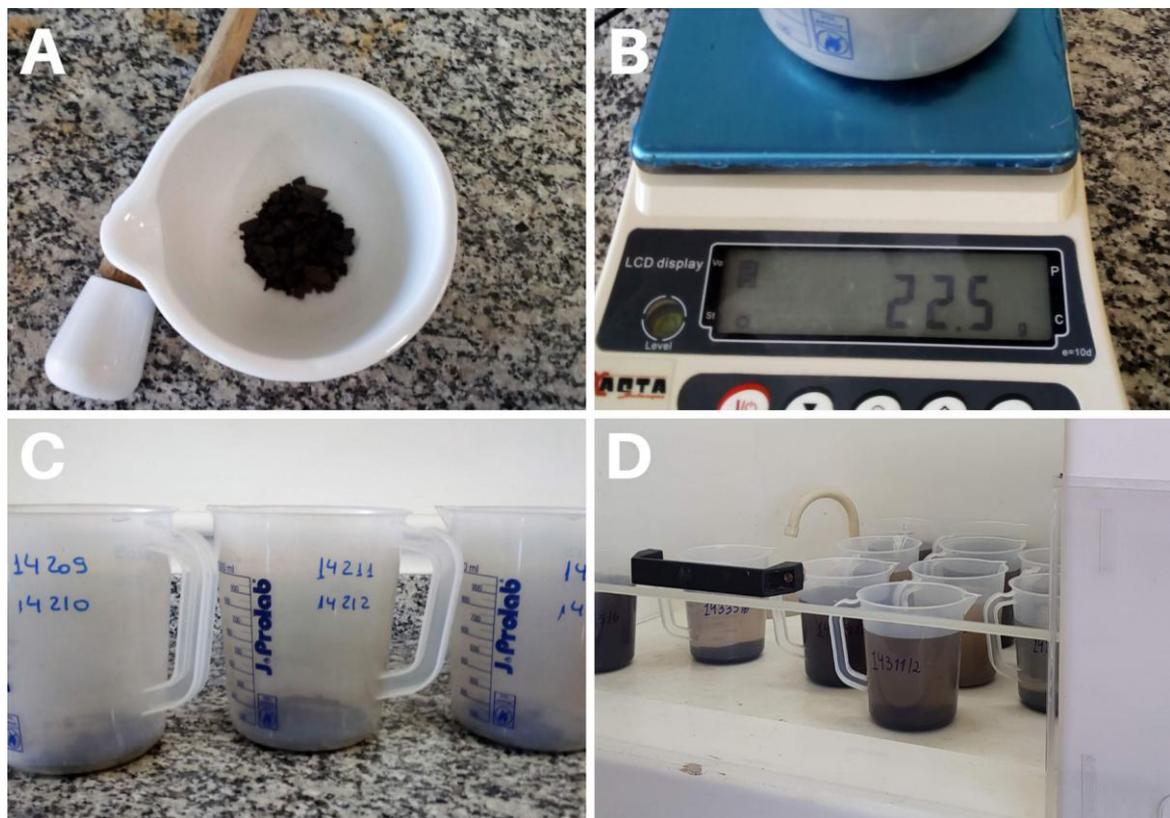


Figura 6. Processamento laboratorial realizado. A) 1ª fase: fragmentação das amostras; B) seleção de aproximadamente 20 gramas de material fragmentado; C) condicionamento em béqueres de plástico, devidamente identificados; D) disposição dos béqueres em capelas com exaustor.

A fase de dissolução química requer o emprego inicial de ácido clorídrico (HCl) seguido de ácido fluorídrico (HF), no caso de rochas calcárias. Para siltitos, folhelhos e argilitos, é realizado um pequeno teste inicial com HCl para confirmar a presença ou não de carbonatos. Caso a amostra não apresente reação à aplicação do HCl, o HF é então colocado nos béqueres para dissolução da fração silicosa da rocha. De acordo com a metodologia, cerca de 16 h de tratamento com ácidos são suficientes. Após esse período, são necessárias três lavagens efetuadas em intervalos de 24 h cada, com água filtrada a fim de neutralizar a solução.

A última etapa corresponde à concentração da matéria orgânica derivada do processamento, consiste na retirada do material em suspensão e seleção da fração decantada em peneiras com malha de 250 μm e 25 μm , respectivamente. O concentrado resultante rico em matéria orgânica foi armazenado em tubos plásticos, com pausa para decantação, sendo posteriormente retirado para fabricação das lâminas (Figura 7).

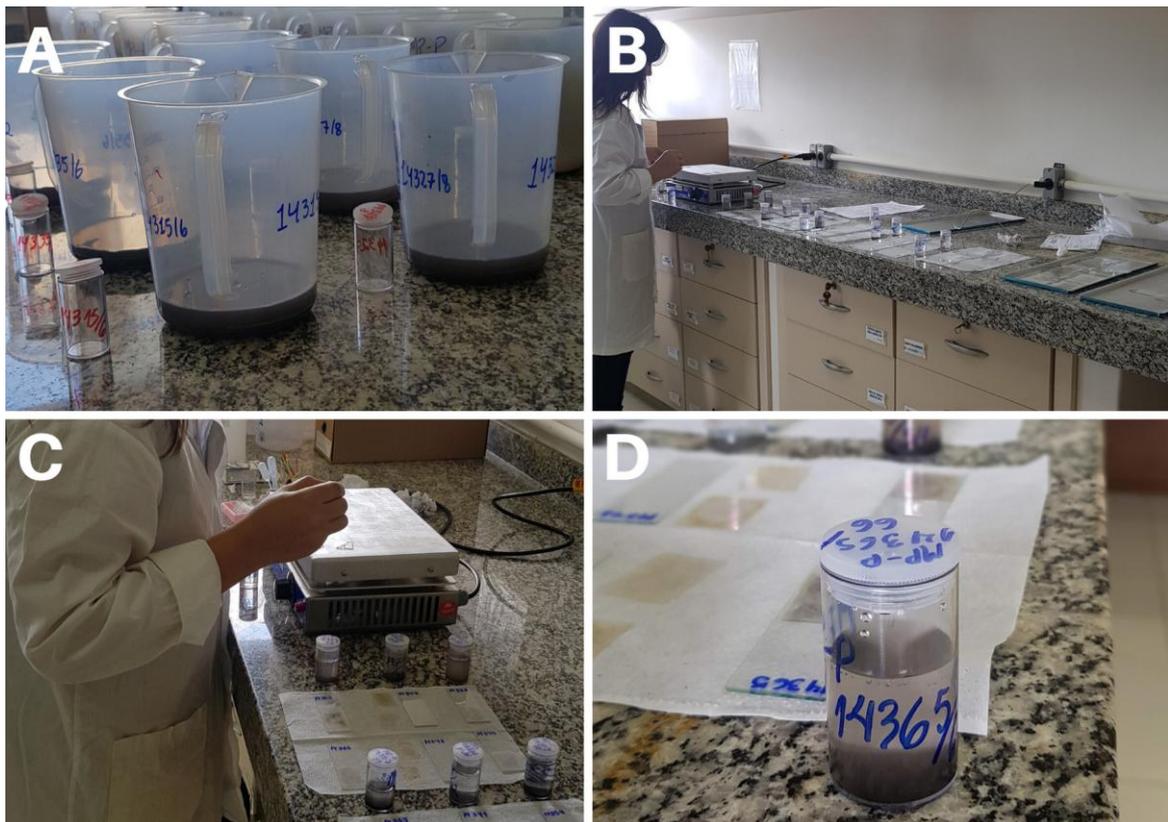


Figura 7. Processamento laboratorial. A) Fase de concentração do resíduo rico em material palinológico (peneiramento). B - D) Confeção de lâminas para análise microscópica.

Para confecção das lâminas foram utilizadas lâminas de vidro (24 x 76 mm) sob as quais foram inseridas lamínulas (24 x 32 mm). Cada lamínula recebeu cerca de uma gota de resíduo orgânico, que foi devidamente distribuído sob toda a superfície.

Adicionalmente, foi inserida uma gota de cellosize para evitar a proliferação de fungos. O processo de secagem da solução requereu a utilização de uma chapa aquecedora (35 a 40° C). Após esse passo, as lamínulas foram coladas à lâmina de vidro, com a utilização do composto *Entelan*. Cabe salientar que durante a colagem é necessário cuidado para não formar bolhas entre as superfícies de ambas (lâmina e lamínula). Além disso, durante todo o processamento laboratorial é indispensável a utilização de equipamentos de proteção (luvas, óculos plásticos e capela com exaustão adequada).

Por fim, após a secagem as lâminas foram devidamente identificadas e disponibilizadas para análise laboratorial microscópica (Figura 8).

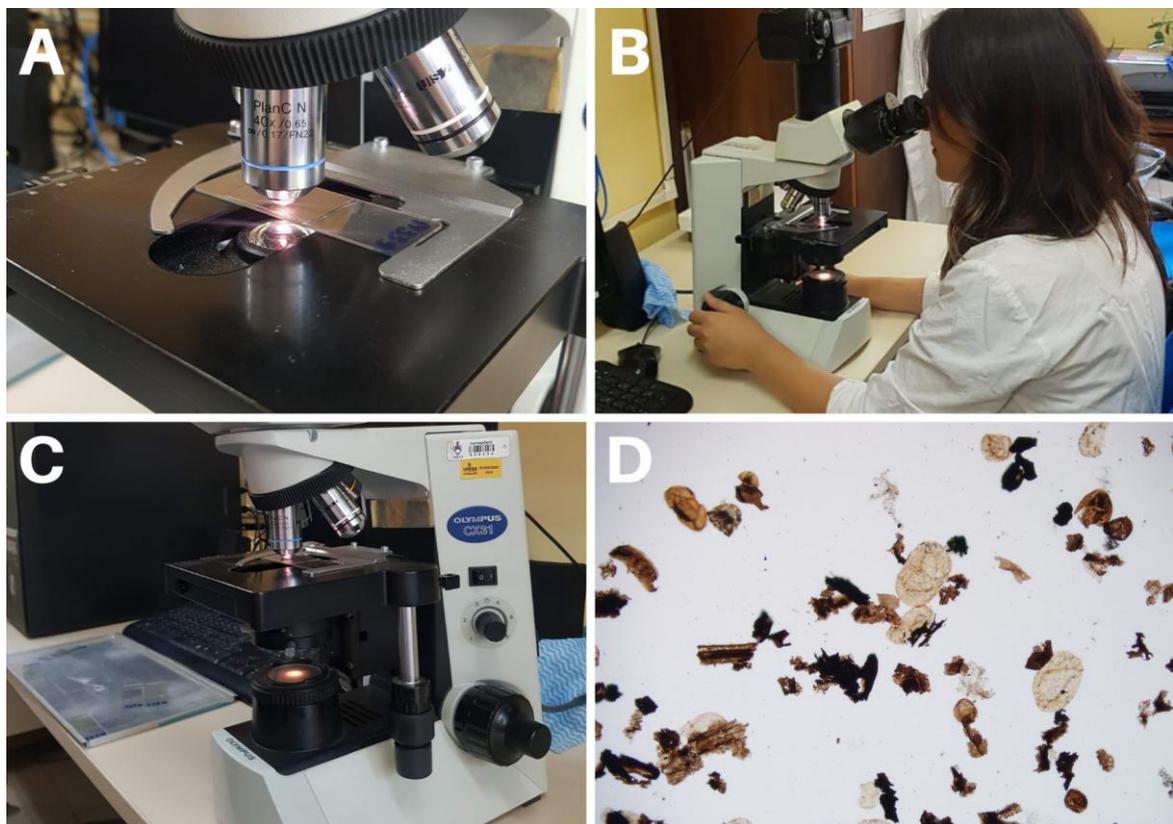


Figura 8. Fase de análise microscópica em laboratório. A) lâmina sobre microscópio em luz branca transmitida; B) análise microscópica em desenvolvimento; C) Microscópio utilizado para as análises: Olympus CX31; D) campo de visão do microscópio sob luz branca transmitida.

4.2 ANÁLISE TAXONÔMICA E FOTODOCUMENTAÇÃO

Para o registro e estudo taxonômico do material palinológico, são utilizadas técnicas de microscopia de luz branca transmitida e luz azul/ultravioleta incidente (fluorescência), sendo que a última facilita a distinção de elementos morfológicamente semelhantes (ex.: algas e esporos). Como supradescrito brevemente no presente documento, características morfológicas como simetria, abertura e ornamentação são

realizadas de forma sistemática a fim de evitar atribuições taxonômicas controversas. Para tanto, as análises taxonômicas foram apoiadas no uso de material bibliográfico original para estudo e comparações. Nos casos em que não houve possibilidade de determinação de espécie, fora atribuída a classificação do espécime em nível de gênero (Ex. *Calamospora* sp.).

Após a classificação, os táxons foram devidamente registrados com o sistema de coordenadas da lâmina *England finder* e as espécies mais importantes documentadas com fotomicrografias. As imagens geradas foram editadas em *softwares* como *Corel Draw* e *Corel PHOTO-PAINT*, e agrupadas em páginas de ilustração no trabalho (Figura 10; Figura 11; Figura 12).

4.3 ANÁLISE PALINOFACIOLÓGICA

Após a realização das análises taxonômicas de todos os táxons dá-se início ao estudo palinofaciológico. As análises quantitativas e qualitativas de palinofácies são realizadas de acordo com a classificação geral proposta por Tyson (1993; 1995), Mendonça Filho (1999) e Mendonça Filho *et al.* (2010) (Quadro 1). São realizadas a partir de varreduras laterais nas lâminas, quantificando de 300 a 500 elementos (fitoclastos, matéria orgânica amorfa e palinomorfos), com resultados elaborados em fichas individuais por nível estratigráfico, conforme exemplificado no Quadro 2.

Quadro 1. Classificação da matéria orgânica particulada (baseado em Tyson 1995, Mendonça Filho, 1999, Mendonça Filho *et al.* 2002). Extraído e modificado de Menezes *et al.* (2008).

GRUPO	SUBGRUPO		DESCRIÇÃO	
MATÉRIA ORGÂNICA AMORFA	"M. O. A." Material orgânico derivado de ataque microbiológico.		Material não estruturado e com formato variado; cor: amarela-laranja-vermelho; laranja-marrom; cinza, algumas vezes com inclusões de palinomorfos, fitoclasto, pirta. Pode exibir ou não colorações de fluorescência.	
	FITOCLASTO	OPACO	Equidimensional	Partícula de cor preta de forma quadrática, sem bioestruturas internas.
Alongado			Partícula de cor preta de forma alongada, comprimento três vezes maior que a largura, usualmente não apresenta estrutura interna, porém, os de forma alongada podem, ocasionalmente, apresentar perfurações.	
Corroído			Partícula de cor preta com contornos difusos e irregulares.	
NÃO-OPACO		"Não-degradado" contorno nítido, pode ser levemente irregular, ou mesmo, lascado. ou "Degradado" contorno irregular e difuso, lascado. ou "Pseudoamorfo" Pode exibir coloração de fluorescência contorno difuso, algum aspecto de MOA.	Não-bioestruturado	Partícula de cor marrom não-bioestruturada.
		Bioestruturado	Partícula de cor marrom bioestruturada: estriado, listrado, bandado, perfurado.	
PALINOMORFO	ESPOROMORFOS	Esporo	Palinomorfo terrestre produzido por pteridófitas, briófitas e fungos	Possui forma triangular ou circular, apresentando a marca trilete ("Y") ou monolete. Ornamentação variada. * Podem ocorrerem como mássulas, aglomerados e tétrades.
		Grão de Pólen	Palinomorfo terrestre produzido por gimnospermas e angiospermas	Possui morfologia complexa asimples, usualmente esférico a subsférico; ornamentação variada, pode apresentar aberturas. * Podem ocorrerem como aglomerados e tétrades.
	MICROPLÂNCTON DE ÁGUA DOCE		<i>Botryococcus</i>	Colônias globulares irregulares; tamanho 30 a 2000µm, algumas vezes com vários lóbulos; laranja-marrom. Ordoviciano-Recente.
	MICROPLÂNCTON MARINHO		Parasinófitas	Algas quadriflageladas, em sua maioria esféricas, como <i>Tasmanites</i> e <i>Leiosphaeridea</i> .
	FUNGOS		<i>Portalites</i>	Vesículas de formato arredondado, com parede espessa, associado a depósitos de Carvão na Bacia do Paraná.

Quadro 2. Ficha de controle elaborada e utilizada para análise quantitativa de palinofácies, com base na metodologia proposta por Tyson (1995).

BACIA:		POÇO:	AMOSTRA:	PROFUNDIDADE:					TOTAL
NÚMERO DE PARTÍCULAS			100	200	300	400	500		
M.O.A	MOA								
	RESINA								
FITOCLASTOS	OPACOS	EQUIDIMENSIONAL							
		ALONGADO							
		CORROÍDO							
	NÃO OPACOS	NÃO BIOESTRUTURADO							
		CUTÍCULA							
		MEMBRANA							
		BIOESTRUTURADOS							
PALINOMORFOS	ESPOROMORFOS	ESPOROS							
		GRÃOS DE PÓLEN							
	MICROPLÂNCTON DE ÁGUA DOCE	<i>Botryococcus</i> spp.							
	MICROPLÂNCTON MARINHO	<i>Leiosphaeridea</i> spp.							
	FUNGOS	<i>Portalites</i> spp.							
OBS:									

Após a contagem e classificação de todos os constituintes orgânicos, esses são plotados em diagramas ternários Fitoclasto – MOA – Palinomorfo, que possibilitam a discriminação de palinofácies de acordo com diferentes ambientes e suas condições de redução/oxidação, através da proporção desses três elementos: palinomorfos, fitoclastos e matéria orgânica amorfa (MOA) (Figura 9).

A partir de tais resultados, é possível determinar proximidade (tendência proximal x distal) na distribuição dos grupos.

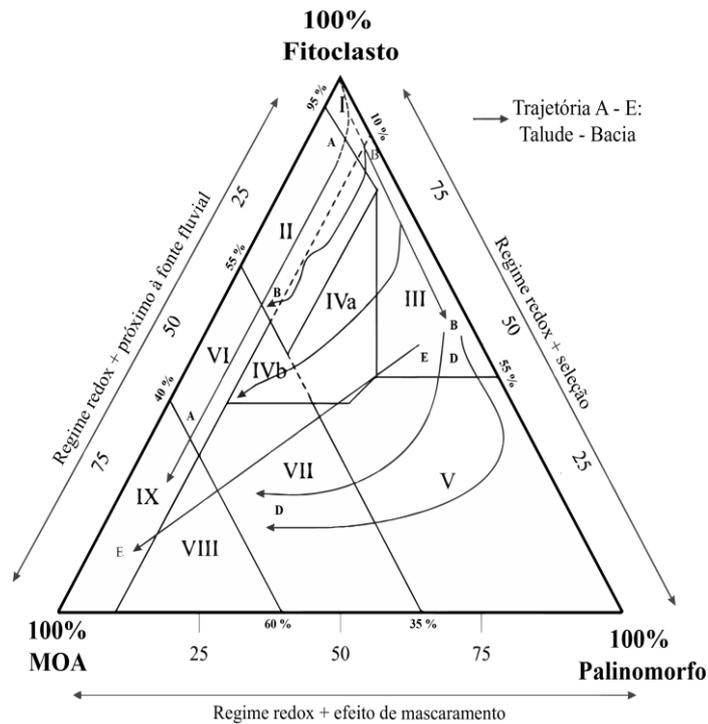
A abundância de fitoclastos representa ambientes deposicionais oxidantes e proximais, com condições hidrodinâmicas que levam à fossilização seletiva. Ambientes fluviais, por exemplo, estão associados à alta razão de fitoclastos não-opacos e não bio-estruturados sobre os demais elementos: fitoclastos opacos, palinomorfos e matéria orgânica amorfa. No caso dos fitoclastos opacos, esses são mais resistentes à degradação

e, por isso, são associados a ambientes mais distais ou de alta energia, como deltas e plataformas proximais. À medida que se afastam da linha de costa, tendem a ser cominuidos e a ter forma cada vez mais alongada (MENDONÇA FILHO, 1999).

De acordo com Tyson (1995) e MENDONÇA FILHO (1999) os três grupos apresentam distribuição proporcional de acordo com o ambiente deposicional. Alta concentração de grãos de pólen e esporos, por exemplo, implica além da baixa concentração de MOA e fitoclastos, deposição em ambientes de baixa energia e moderadamente oxidantes. Ademais, esporomorfos mais ornamentados e com parede espessa, são depositados mais próximos às áreas fontes, assim como tétrades de esporos. E o mesmo ocorre inversamente, em áreas mais distais há um aumento na razão de elementos simples vs. elementos complexos. Quanto ao microplâncton marinho, esse geralmente ocorre associado à fácies mais distais em relação a ambientes flúvio-deltaicos, principalmente quando a maior parte da assembleia corresponde à algas Parasinophyta. Contudo, devido à afinidade salina/mixo-halina, tais algas podem ocorrer também em fácies mais proximais, representativas de ambientes lagunares carbonáticos e de água rasa.

Quanto ao percentual de matéria orgânica amorfa (MOA), a alta percentagem é indicativa de diluição dos elementos dos outros grupos (fitoclastos e palinomorfos), bem como representa ambientes deposicionais redutores e de baixa energia. A alta percentagem de MOA sobre os demais elementos está associada normalmente a um ambiente mais distal na trajetória talude → bacia (MENDONÇA FILHO, 1999).

Menezes *et al.* (2008) propõe um diagrama ternário fitoclasto-moa-palinomorfo para ambientes marinhos com base em Tyson (1995), que possibilita a discriminação de palinofácies de acordo com a proximidade do ambiente e suas condições de redução/oxidação, através da proporção desses três elementos: palinomorfos, fitoclastos e matéria orgânica amorfa (MOA) (Figura 9).



CAMPOS DE PALINOFÁCIES	CARACTERÍSTICAS DEPOSICIONAIS DA MATÉRIA ORGÂNICA
I	Bacia ou plataforma altamente proximal Alto suprimento de fitoclastos dilui todos os outros componentes.
II	Bacia marginal disóxica-anóxica MOA diluída pelo alto suprimento de fitoclastos, mas com moderada a boa preservação.
III	Plataforma óxica heterolítica ("plataforma proximal") Geralmente baixa taxa de preservação de MOA, abundância absoluta de fitoclastos depende da proximidade de fontes flúvio-deltaicas. Oxidação e retrabalhamento comuns.
IV	Transição plataforma-bacia Transição plataforma-bacia no tempo (e.g. aumento da subsidência/profundidade da lâmina d'água) ou espaço (talude). Abundância absoluta de fitoclastos depende da proximidade da fonte fluvial e do grau de redeposição. iVa: disóxico. iVb: subóxico-anóxico.
V	Plataforma óxica dominada por lama ("plataforma distal") Baixa a moderada MOA (geralmente degradada). Palinomorfos abundantes. Margas de coloração clara, bioturbadas são comuns.
VI	Plataforma proximal subóxica-anóxica Boa taxa de preservação de MOA, bacia apresenta condições redutoras. Conteúdo absoluto de fitoclastos deve ser moderado a alto, devido ao input de turbiditos e/ou proximidade da fonte flúvio-deltaica.
VII	"Plataforma" distal disóxica-anóxica Moderada a boa taxa de preservação de MOA, baixa a moderado conteúdo de palinomorfos. lamitos escuros bioturbados são comuns.
VIII	Plataforma distal disóxica-óxica MOA dominante, excelente taxa de preservação. Baixo a moderado conteúdo de palinomorfos. Folhelhos ricos em matéria orgânica são depositados sob condições de coluna d'água estratificada.
IX	Bacia distal subóxica-anóxica / Plataforma carbonática / Marinho Restrito MOA dominante. Baixo conteúdo de palinomorfos. Frequentemente rico em alginitas. Depósitos de águas profundas ou depósitos de condições de coluna d'água estratificada ou sedimentos de bacia faminta.

Figura 9. Diagrama ternário Fitoclasto-MOA-Palinomorfo utilizado na definição de palinofácies em seções marinhas com os respectivos campos de paleoambiente correspondentes à deposição de matéria orgânica (extraído e modificado de Menezes *et al.*, 2008 com base em Tyson, 1993, 1995).

5 RESULTADOS

5.1 TAXONÔMICOS

O processamento laboratorial resultou em 20 lâminas oriundas de 10 amostras de cinco afloramentos localizados em São Francisco do Maranhão (MA) e 24 lâminas oriundas das 12 amostras do Poço 1-UN-09-PI, localizado no Município de Caxias (MA). Contudo, a análise microscópica preteriu o material oriundo dos afloramentos, pois não foram identificados táxons de palinórfos para posicionamento biocronoestratigráfico, bem como elementos que possibilitassem uma análise palinofaciológica. As lâminas do Poço foram codificadas com a sigla MP-P acompanhada da numeração, conforme a correspondência com a profundidade da amostra, os níveis 1 – 12 representam um conjunto de duas lâminas cada (Figura 2).

As análises qualitativa e quantitativa foram realizadas separadamente, assim como descrito nos itens 4 e 5 do presente documento. Como já elencado, a análise se deu com o intuito de revisar a lista taxonômica registrada por Souza *et al.* (2010) e, por conseguinte, avaliar o posicionamento biocronoestratigráfico.

Ao total, foram registrados 63 táxons de palinórfos (19 de esporos, 42 de grãos de pólen, um de alga e um de fungo), 34 a mais do registrado por Souza *et al.* (2010).

5.1.1 ESPOROS

Anteturma PROXIMEGERMINANTES R. Potonié, 1970

Turma TRILETE Reinsch *emend.* Dettmann, 1963

Suprasubturma ACAVATITRILETES Dettmann, 1963

Subturma AZONOTRILETES Luber *emend.* Dettmann, 1963

Infraturma LAEVIGATI Bennie & Kidston *emend.* R. Potonié, 1956

Calamospora breviradiata Kosanke, 1950 (Figura 10 - 1)

Calamospora hartungiana Schopf in Schopf, Wilson & Bentall, 1944 (Figura 10 - 2)

Calamospora spp. (Figura 10 - 3)

Punctatisporites sp.

Infraturma APICULATI Bennie & Kidston emend. R. Potonié, 1956

Subinfraturma GRANULATI Dybová & Jachowicz, 1957

Granulatisporites sp.

Subinfraturma VERRUCATI Dybová & Jachowicz, 1957

Verrucosisporites sp.

Subinfraturma BACULATI Dybová & Jachowicz, 1957

Raistrickia cephalata Bharadwaj, Kar & Navale, 1976 (Figura 10 - 4)

Subinfraturma NODATI Dybová & Jachowicz, 1957

Apiculatasporites daemonii Playford & Dino, 2000 (Figura 10 - 5)

Apiculatasporites spp.

Lophotriletes sp.

Suprasubturma LAMINATITRILETES Smith & Butterworth, 1967

Subturma ZONOLAMINATITRILETES Smith & Butterworth, 1967

Infraturma CINGULICAVATI Smith & Butterworth, 1967

Cristatisporites sp.

Vallatisporites arcuatus (Marques-Toigo) Archangelsky & Gamero 1979 (Figura 10 - 6)

Vallatisporites spp.

Suprasubturma PSEUDOSACCITRILETES Richardson, 1965

Infraturma MONOPSEUDOSACCITI Smith & Butterworth, 1967

Endosporites globiformes (Ibrahim) Shopf, Wilson & Bentall 1944 (Figura 10 - 7 e 8)

Spelaeotriletes arenaceus Neves & Owens, 1966

Spelaeotriletes triangulus Neves & Owens, 1966

Velamispores sp.

Turma MONOLETES Ibrahim, 1933

Suprasubturma ACAVATOMONOLETES Dettmann, 1963

Subturma AZONOMONOLETES Luber, 1935

Infraturma LAEVIGATOMONOLETI Dybová & Jachowicz, 1957

Laevigatosporites ovatus Wilson & Webster, 1946

Laevigatosporites sp.

5.1.2 GRÃOS DE PÓLEN

Anteturma VARIEGERMINANTES R. Potonié, 1970

Turma SACCITES Erdtman, 1947

Subturma MONOSACCITES Chitaley *emend.* R. Potonié & Kremp, 1954

Infraturma ALETESACCITI Leschik, 1955

Florinites occultus Leschik, 1955 (Figura 10 - 9)

Infraturma TRILETESACCITI Leschik, 1955

Cannanoropollis janakii R. Potonié & Sah, 1960 (Figura 10 - 10)

Cannanoropollis mehta (Lele) Bose & Maheshwari, 1968 (Figura 10 - 11)

Plicatipollenites densus Srivastava, 1970

Plicatipollenites gondwanensis (Balme & Hennelly) Lele, 1964 (Figura 11 - 1 e 2)

Plicatipollenites malabarensis (R. Potonié & Sah) Foster, 1975 (Figura 10 - 12)

Infraturma VESICULOMONORADITI Pant, 1954

Crucisaccites monoletus Maithy, 1965

Crucisaccites spp.

Caheniasaccites flavatus Bose & Kar *emend.* Azcuy & Di Pasquo, 2000 (Figura 11 - 4)

Caheniasaccites verrucosus (González-Amicón) Gutiérrez 1993 (Figura 11 - 3)

Caheniasaccites spp.

Costatascyclus crenatus Felix & Burbridge *emend.* Urban, 1971

Potonieisporites barrelis Tiwari, 1965

Potonieisporites braziliensis (Nahuys, Alpern & Ybert) *emend.* Archangelsky & Gamero 1979

Potonieisporites congoensis Bose & Maheshwari, 1968

Potonieisporites lelei Maheshwari, 1967 (Figura 11 - 6)

Potonieisporites novicus Bhardwaj *emend.* Poort & Veld, 1997 (Figura 11 – 5 e 7)

Potonieisporites triangulatus Tiwari, 1965 (Figura 11 - 8)

Potonieisporites spp.

Infraturma STRIASACCITI Bharadwaj, 1962

Mabuitasaccites crucistriatus (Ybert) *comb. nov.* Playford & Dino, 2000 (Figura 11 – 9 e 10)

Meristocarpus explicatus Playford & Dino, 2000 (Figura 11 - 11)

Meristocarpus ostentus Dino & Playford, 2002 (Figura 11 - 12)

Striomonosaccites cf. *incrassatus* Playford & Dino, 2000 (Figura 11 - 13)

Striomonosaccites ovatus Bharadwaj, 1962 (Figura 11 - 14)

Striomonosaccites sp.

Subturma DISACCITES Cookson, 1947

Infraturma DISACCITRILETI Leschik, 1955

Limitisporites amazonensis Playford & Dino, 2000 (Figura 11 - 15)

Infraturma MURORNATI-COSTATI

Distriatites insolitus Bharadwaj & Salujha 1964 (Figura 12 - 1)

Infraturma STRIATITI Pant, 1954

Hamiapollenites sp. cf. *Hamiapollenites fusiformes* Marques-Toigo *emend.* Archangelsky & Gamero 1979 (Figura 12 – 2 e 3)

Illinites unicus Kosanke *emend.* Jansonius & Hills, 1976

Lunatisporites onerosus Playford & Dino, 2000

Protohaploxypinus amplus (Balme & Hennelly) Hart, 1964 (Figura 12 - 4)

Protohaploxypinus limpidus (Balme & Hennelly) Balme & Playford, 1967

Protohaploxypinus spp.

Striatoabieites bricki Sedova, 1956 (Figura 12 - 5)

Striatoabieites cf. *anaverrucosus* Archangelsky & Gamero, 1979 (Figura 12 - 6)

Striatobieites spp. (Figura 12 – 7 e 12)

Striatopodocarpites gondwanensis Lakhanpal, *et al.*, 1960

Striatopodocarpites cf. *fusus* (Balme & Hennelly 1955) Potonié 1958 (Figura 12 – 8 e 10)

Striatopodocarpites phaleratus (Balme & Hennelly 1955) Hart, 1964 (Figura 12 - 9)

Striatopodocarpites spp. (Figura 12 – 11 e 8)

Verticipollenites sp.

Turma MONOSULCATES Potonié, 1970

Infraturma MONOCOLPATES Iveson & Troels – Smith, 1950

Marsupipollenites sp. cf. *striatus* (Balme & Hennelly) Foster 1975 (Figura 12 - 13)

5.1.3 ALGAS CLOROFÍCEAS

Divisão PRASINOPHYTA Round, 1971

Ordem PYRAMIMONADALES Schiller, 1925

Família LEIOSPHAERIDACEAE Sommer *emend.* Sommer & Van Boekel, 1963

Leiosphaeridia sp. (Figura 12 – 14 e 15)

5.1.4 FUNGOS

Portalites gondwanensis Nahuys *et al. emend.* Souza *et al.* 2016

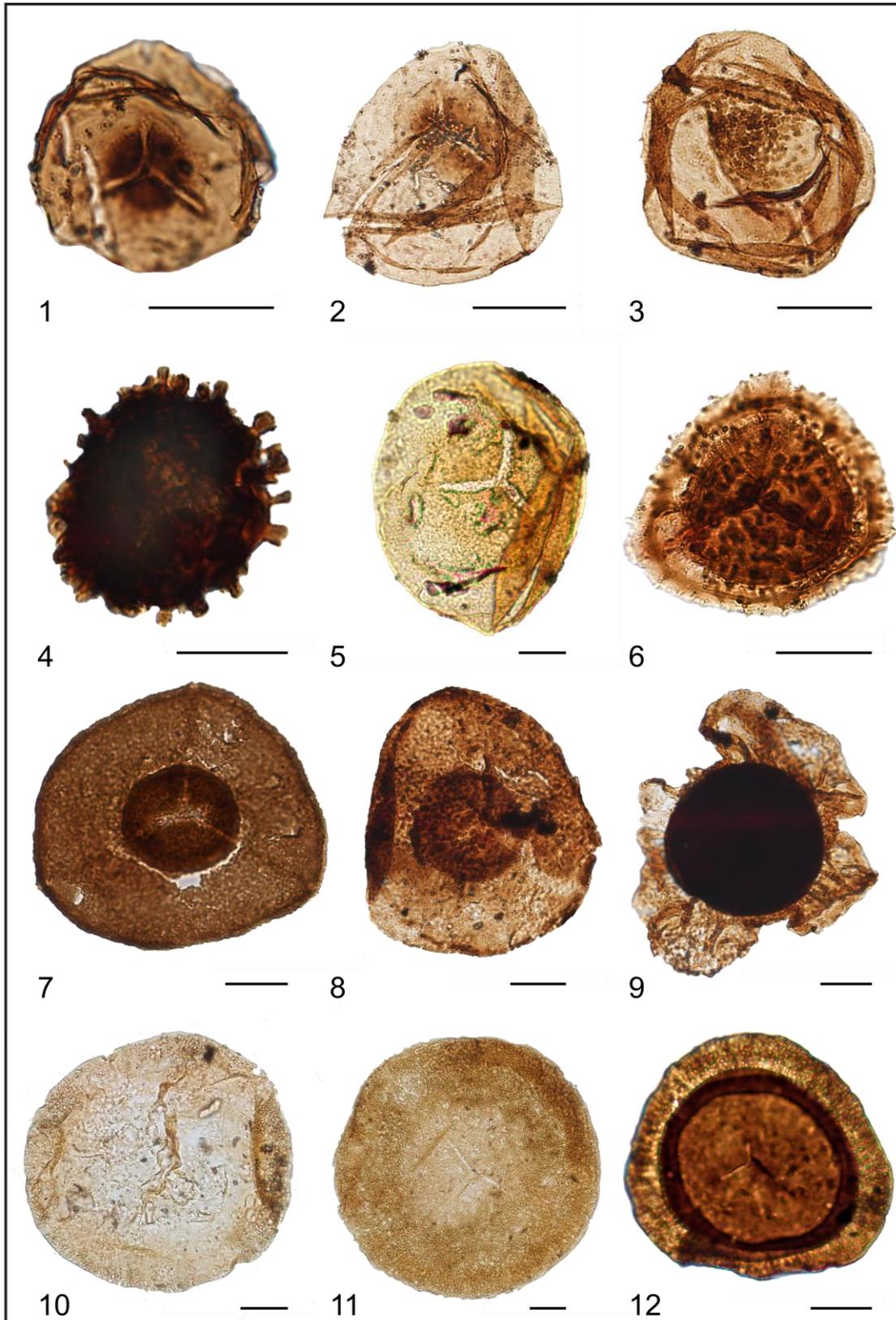


Figura 10. Fotomicrografias, estampa 1 (escala: 20 μ m). 1. *Calamorpora brev irradiata* MP-P 14357, W28-1; 2. *C. hartungiana* MP-P 14349, S44-2; 3. *C. spp.* MP-P 14352, G39-4; 4. *Raistrickia cephalata* MP-P 14353, A42; 5. *Apiculatasporites daemonii* MP-P 14362, H33-4; 6. *Vallatisporites arcuatus* MP-P 14352, R60; 7. *Endosporites globiformes* MP-P 14353, C32; 8. *Endosporites globiformes* MP-P 14353, E51; 9. *Florinites occultus* MP-P 14359, H56; 10. *Cannanoropollis janakii* MP-P 14352, S57-1; 11. *C. mehta* MP-P 14355 L50; 12. *Plicatipollenites malabarensis* MP-P 14351, F30-1.

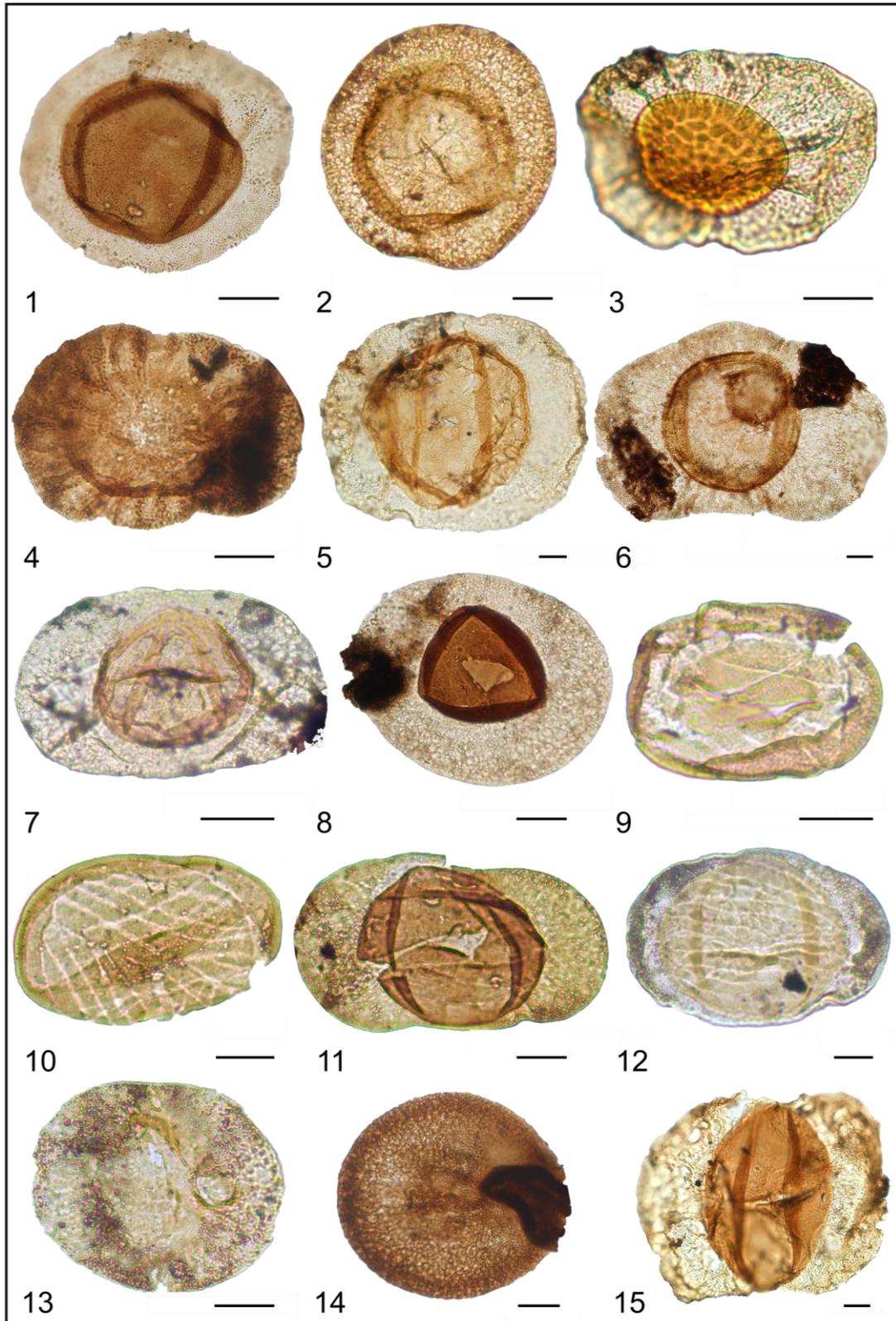


Figura 11. Fotomicrografias, estampa 2 (escala: 20 μ m). 1. *Plicatipollenites gondwanensis* MP-P 14353, D55; 2. *P. gondwanensis* MP-P 14347, X14-2; 3. *Caheniasaccites verrucosus* MP-P 14362, L34-2; 4. *C. flavatus* MP-P 14353, L42-4; 5. *Potonieisporites novicus* MP-P 15461, 052-2; 6. *P. lelei* MP-P 14352, J42; 7. *P. novicus* MP-P 14361, M23-2; 8. *P. triangulatus* MP-P 14353, L42-2; 9. *Mabuitasaccites crucistriatus* MP-P 14358, Q13-1; 10. *M. crucistriatus* MP-P 14354, J38-4. 11. *Meristocorpus explicatus* MP-P 14354, J20-1; 12. *M. ostentus* MP-P 14361, V26-3; 13. *Striomonosaccites ovatus* MP-P 14354 G16-3; 14. *S. cf. incrassatus* MP-P 14353, M44; 15. *Limitisporites amazonensis* MP-P 14361, N52-2.

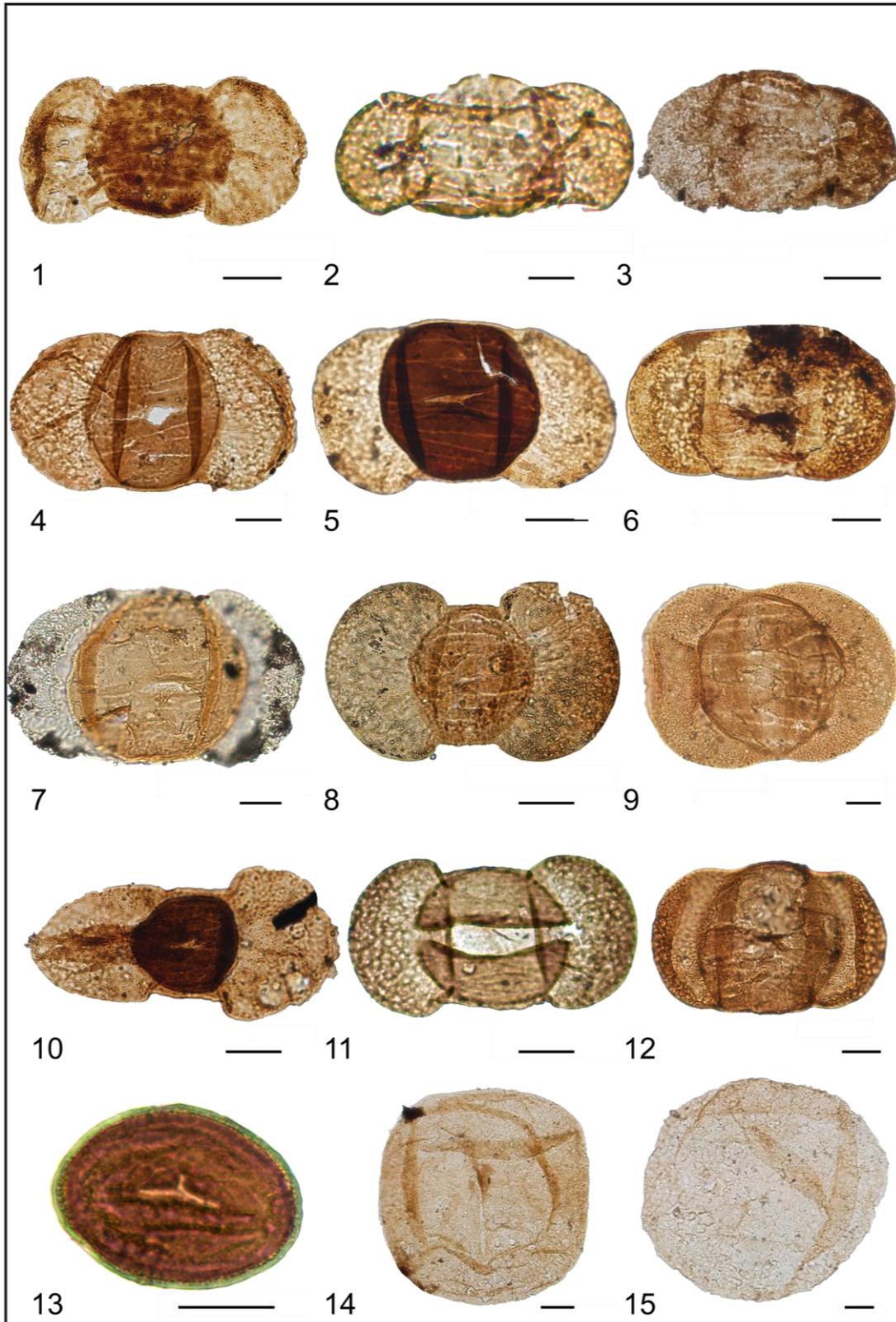


Figura 12. Fotomicrografias, estampa 3 (escala: 20 μ m). 1. *Distriatites insolitus* MP-P 14353, P29-1; 2. *Hamiapollenites* cf. *fusiformes* MP-P 14354, B39-3; 3. *H.* cf. *fusiformes* MP-P 14357, G44-2; 4. *Protohaploxypinus amplus* MP-P 14354, A37; 5. *Striatobieites bricki* MP-P 14359, T54; 6. *S.* cf. *anaverrucosus* MP-P 14357, J52; 7. *S.* spp. MP-P 14361, E49-1; 8. *Striatopodocarpites* cf. *fusus* MP-P 14353, M46; 9. *S. phaleratus* MP-P 14353, E43-1; 10. *S.* cf. *fusus* MP-P 14353, U44; 11. *S.* spp. MP-P 14354, X38; 12. *Striatoabieites* spp. MP-P 14357, B53; 13. *Marsupipollenites* sp. cf. *striatus* MP-P 14354, R18-3; 14 e 15. *Leiosphaerideia* sp. MP-P 14352, M43; MP-P 14355, B39-3.

5.2 PALINOFACIOLÓGICOS

Quanto ao presente estudo palinofaciológico, esse permitiu a subdivisão do intervalo selecionado em dois grupos principais, de acordo com o percentual de MOA, fitoclastos e palinomorfos (Figura 13; Quadro 4; Quadro 3):

Intervalo de 178,12 - 144,4 m: baixa razão de palinomorfos e fitoclastos sobre MOA, sobretudo em relação à palinomorfos (MOA >> FITOCLASTOS > PALINOMORFOS). No geral, o percentual de MOA nos níveis analisados varia de 65 a 90%, seguido pelo percentual de fitoclastos (< 26%) e palinomorfos (< 8 %). Os últimos, quando registrados, aparecem mal preservados e com oxidação intensa, impossibilitando a classificação taxonômica mesmo que em nível de gênero. Quanto aos fitoclastos, predominam os opacos sobre os não opacos no intervalo de 110,6 a 121,62 m; a partir de 130, 62 m de profundidade predominam os não opacos. Além disso, predominam os opacos equidimensionais sobre os opacos alongados.

Intervalo de 144, 4 – 110,6 m: alta razão de fitoclastos sobre palinomorfos e MOA (FITOCLASTOS < PALINOFORMOS e MOA), com exceção de um nível 11, localizado a 175,72 m de profundidade. No geral, os percentuais de fitoclastos e palinomorfos aumentam significativamente em relação ao intervalo de topo do poço. Em relação ao grupo palinomorfos, esse inclui majoritariamente esporomorfos, seguido de microplâncton marinho. O último está representado por algas prasinófitas, sem registros de acritarcos, com percentagem significativa (< 5 %) apenas no nível 9 (MP-P 14355/14356), localizado à 157,9 m de profundidade (Quadro 5; Figura 14). Além disso, é observada importante relação entre grãos de pólen e esporos e o estado de preservação das formas. Para a porção de base do intervalo (178, 12 a 110,6 m), nos níveis localizados junto à porção central do intervalo predominam esporos sobre grãos de pólen, com registros de tétrades, o que indica alta proximidade com a área fonte. Já nos níveis de base, predominam grãos de pólen. Com exceção do nível 11, a diminuição do valor da razão de fitoclastos opacos sobre não opacos também sugere um ambiente deposicional mais proximal em relação à porção de topo do intervalo estudado.

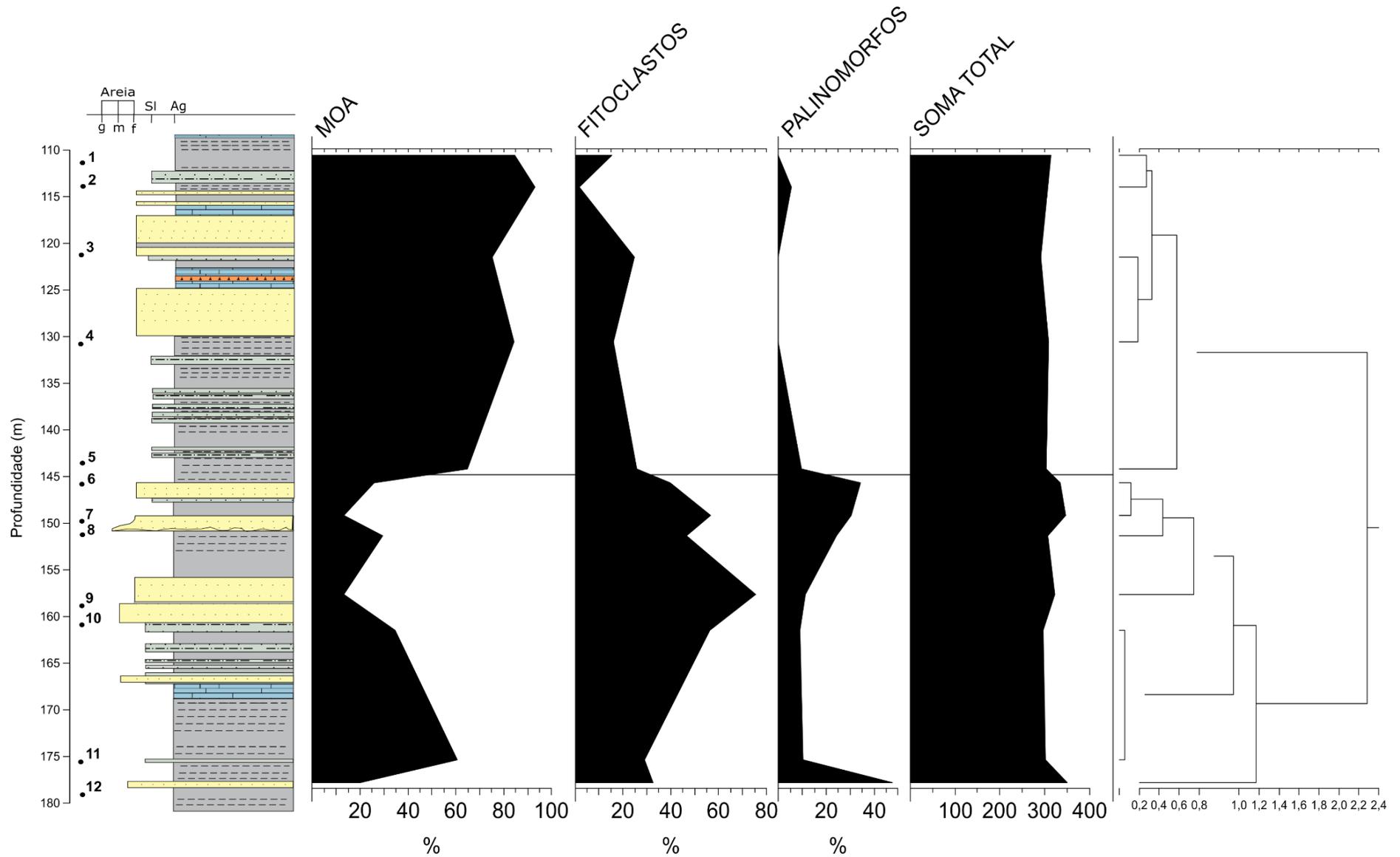


Figura 13. Histogramas com as proporções de MOA, fitoclastos e palinomorfos, e possíveis agrupamentos para o intervalo estudado e o perfil litológico do Poço 1-UN-09-PI.

Quadro 3. Percentagens de MOA, fitoclastos e palinomorfos registrados para cada nível amostrado.

Nível	Profundidade (m)	Lâminas	MOA	FITOCLASTO	PALINOMORFOS	TOTAL
1	110,6	MP-P 14339/14340	84,71%	15,29%	0%	100,00%
2	114,01	MP-P 14341/14342	93,16%	1,63%	5,21%	100,00%
3	121,62	MP-P 14343/14344	75,34%	24,66%	0%	100,00%
4	130,69	MP-P 14345/14346	84,14%	15,86%	0%	100,00%
5	144,4	MP-P 14347/14348	65,55%	26,09%	8,36%	100,00%
6	145,88	MP-P 14349/14350	27,02%	41,30%	31,68%	100,00%
7	149,4	MP-P 14351/14352	13,61%	57,99%	28,40%	100,00%
8	151,6	MP-P 14353/14354	31,36%	49,83%	18,82%	100,00%
9	157,9	MP-P 14355/14356	13,96%	78,90%	7,14%	100,00%
10	161,71	MP-P 14357/14358	34,92%	56,61%	8,47%	100,00%
11	175,72	MP-P 14359/14360	62,24%	29,93%	7,82%	100,00%
12	178,12	MP-P 14361/14362	20,17%	32,85%	46,97%	100,00%

Além desses grupos, é possível subdividir o intervalo superior quanto à razão de fitoclastos opacos sobre não opacos. Os três primeiros níveis 1, 2 e 3 de 130,69 a 110,6 m apresentam uma alta razão em relação aos níveis subpostos, indicando um ambiente mais oxidante (Quadro 4).

Quadro 4. Percentagem de fitoclastos opacos e não opacos, e a razão de fitoclastos opacos sobre não opacos para cada nível amostrado.

Nível	Profundidade (m)	Lâminas	OPACOS	NÃO OPACOS	TOTAL	RAZÃO OPACOS/NÃO OPACOS
1	110,6	MP-P 14339/14340	68,75%	31,25%	100,00%	2,2
2	114,01	MP-P 14341/14342	80,00%	20,00%	100,00%	4
3	121,62	MP-P 14343/14344	91,67%	8,33%	100,00%	11
4	130,69	MP-P 14345/14346	24,49%	75,51%	100,00%	0,32
5	144,4	MP-P 14347/14348	28,21%	71,79%	100,00%	0,39
6	145,88	MP-P 14349/14350	44,36%	55,64%	100,00%	0,79
7	149,4	MP-P 14351/14352	22,96%	77,04%	100,00%	0,29
8	151,6	MP-P 14353/14354	46,85%	53,15%	100,00%	0,88
9	157,9	MP-P 14355/14356	13,58%	86,42%	100,00%	0,15
10	161,71	MP-P 14357/14358	40,72%	59,28%	100,00%	0,68
11	175,72	MP-P 14359/14360	51,14%	48,86%	100,00%	1,04
12	178,12	MP-P 14361/14362	46,49%	53,51%	100,00%	0,86

Quadro 5. Quadro com a distribuição em porcentagem de todos os elementos, por nível.

Profundidade (m)	Lâminas	MOA	FITOCLASTOS						ESPOROS	GRÃOS DE PÓLEN				MICROPLÂNCTON MARINHO	FUNGOS	OUTROS
			OPACOS			NÃO OPACOS				MONOSSACADOS		BISSACADOS				
			OPACOS EQUIDIMENSIONAIS	OPACOS ALONGADOS	CORROÍDOS/PSEUDOMORFOS	NÃO BIOESTRUTURADOS, NÃO DEGRADADOS	NÃO BIOESTRUTURADOS, DEGRADADOS	BIOESTRUTURADOS		LISOS	ESTRIADOS	LISOS	ESTRIADOS			
110,6	MP-P 14339/14340	84,71%	8,28%	0,00%	2,23%	0,64%	1,59%	2,55%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
114,01	MP-P 14341/14342	93,16%	0,65%	0,65%	0,00%	0,00%	0,33%	0,00%	5,21%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
121,62	MP-P 14343/14344	75,34%	20,55%	2,05%	0,00%	1,03%	1,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
130,69	MP-P 14345/14346	84,14%	3,56%	0,32%	0,00%	2,59%	5,83%	3,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
144,4	MP-P 14347/14348	65,55%	3,96%	1,32%	1,98%	2,64%	6,60%	9,24%	1,98%	1,98%	0,99%	0,00%	3,30%	0,00%	0,00%	1,32%
145,88	MP-P 14349/14350	27,02%	5,97%	7,16%	4,48%	4,48%	4,48%	13,13%	28,06%	1,19%	0,00%	0,00%	1,19%	0,00%	0,00%	3,88%
149,4	MP-P 14351/14352	13,61%	8,93%	2,31%	1,73%	13,83%	14,41%	15,27%	21,33%	3,75%	1,15%	0,00%	1,44%	0,00%	0,00%	2,59%
151,6	MP-P 14353/14354	31,36%	11,73%	8,79%	1,30%	12,05%	1,63%	11,07%	6,19%	4,56%	5,21%	0,00%	1,63%	0,00%	0,00%	6,51%
157,9	MP-P 14355/14356	13,96%	4,66%	1,55%	4,04%	9,63%	22,98%	32,61%	4,66%	1,55%	0,00%	0,00%	0,62%	3,11%	0,00%	1,24%
161,71	MP-P 14357/14358	34,92%	18,86%	2,36%	1,68%	18,86%	7,74%	6,73%	6,06%	0,34%	0,67%	0,00%	1,35%	0,00%	0,00%	0,67%
175,72	MP-P 14359/14360	62,24%	11,26%	1,66%	1,99%	6,29%	3,64%	4,30%	5,30%	1,32%	0,99%	0,00%	0,00%	0,00%	0,33%	2,32%
178,12	MP-P 14361/14362	20,17%	8,86%	2,57%	3,71%	5,43%	5,43%	6,57%	4,57%	17,43%	6,29%	0,29%	18,00%	0,00%	0,00%	0,86%

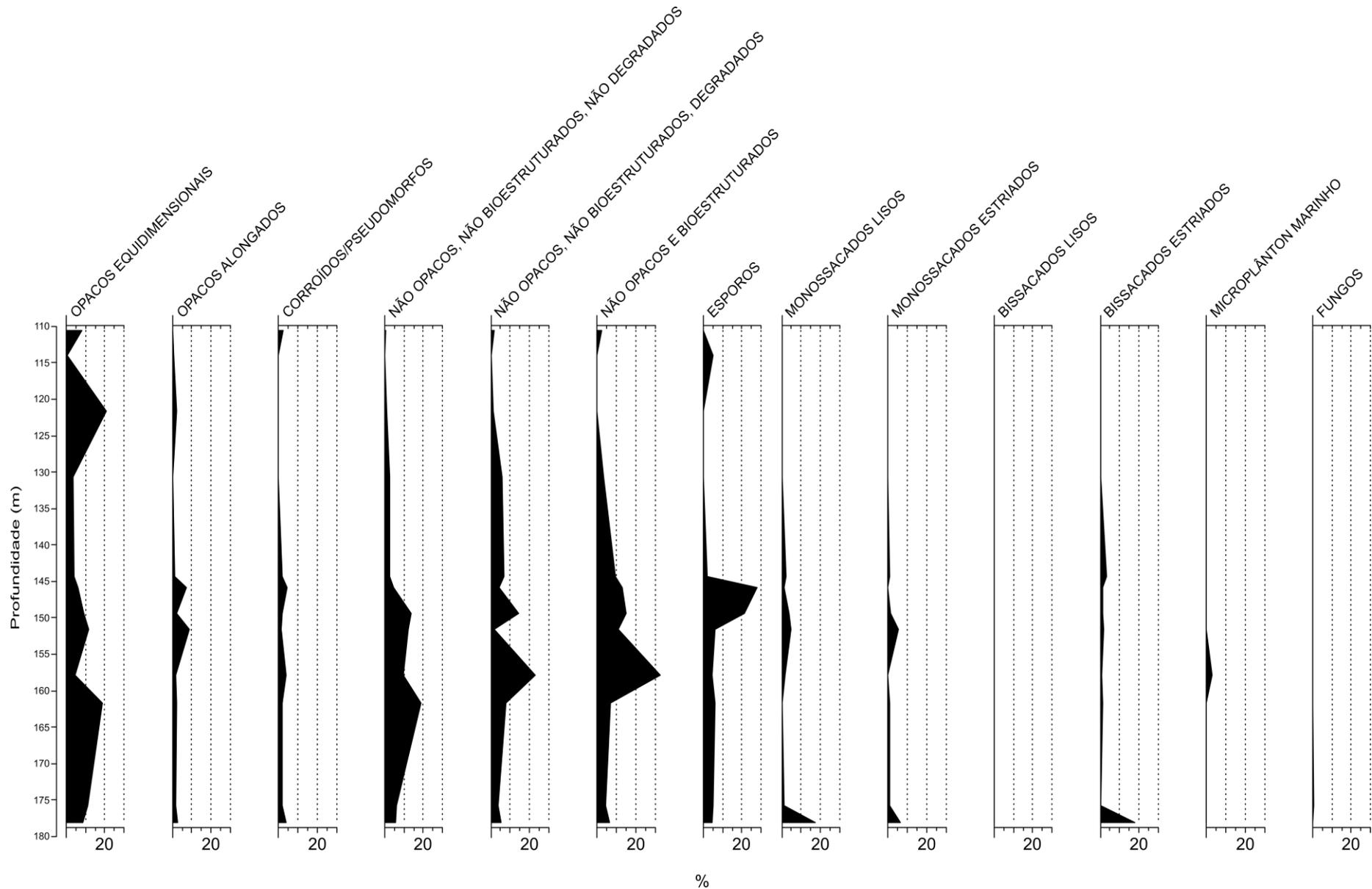


Figura 14. Histogramas com os percentuais de cada elemento analisado em relação à profundidade no intervalo amostrado do Poço 1-UN-09-PI

Plotando os percentuais de MOA, fitoclastos e palinomorfos no diagrama ternário proposto para ambientes marinhos de Menezes *et al.* (2008) (Figura 15), temos a seguinte relação da trajetória talude → bacia, respectivamente:

- Nível 7 inserido no **Campo III, plataforma óxica heterolítica (“plataforma proximal”)**, com baixa taxa de preservação de MOA, abundância absoluta de fitoclastos, que indica proximidade com fontes flúvio-deltaicas. Oxidação e retrabalhamento comuns;
- Níveis 8 e 9 inseridos no **Campo IVa**, indicativo de um paleoambiente **transicional plataforma-bacia**, com maior aporte de fitoclastos em relação aos demais elementos, sob condições de oxidação. Nesse caso os elementos se encontram com boa taxa de preservação;
- Nível 10 inserido entre os campos **II e VI**, que representam **bacia marginal disóxica-anóxica** ou **plataforma proximal subóxica-anóxica, respectivamente**;
- Níveis 12 e 6 inseridos no **Campo V, plataforma óxica dominada por lama (“plataforma distal”)** baixa a moderada MOA (geralmente degradada) e palinomorfos abundantes;
- Níveis 5 e 11 inseridos entre os campos **IX e VIII**, que indica um paleoambiente de **plataforma distal disóxica-óxica**. Em virtude da taxa de preservação o nível 11 se enquadra mais em uma plataforma distal, enquanto o nível 5 se enquadra mais em um ambiente mais proximal;
- Níveis 1, 2, 3, 4 inseridos no **Campo IX**, que indica um paleoambiente que pode ser interpretado como depósito **distal sob condição subóxica-anóxica**, assim como **plataforma carbonática** ou **ambiente marinho restrito**, apresentam MOA dominante e baixo conteúdo de palinomorfos.

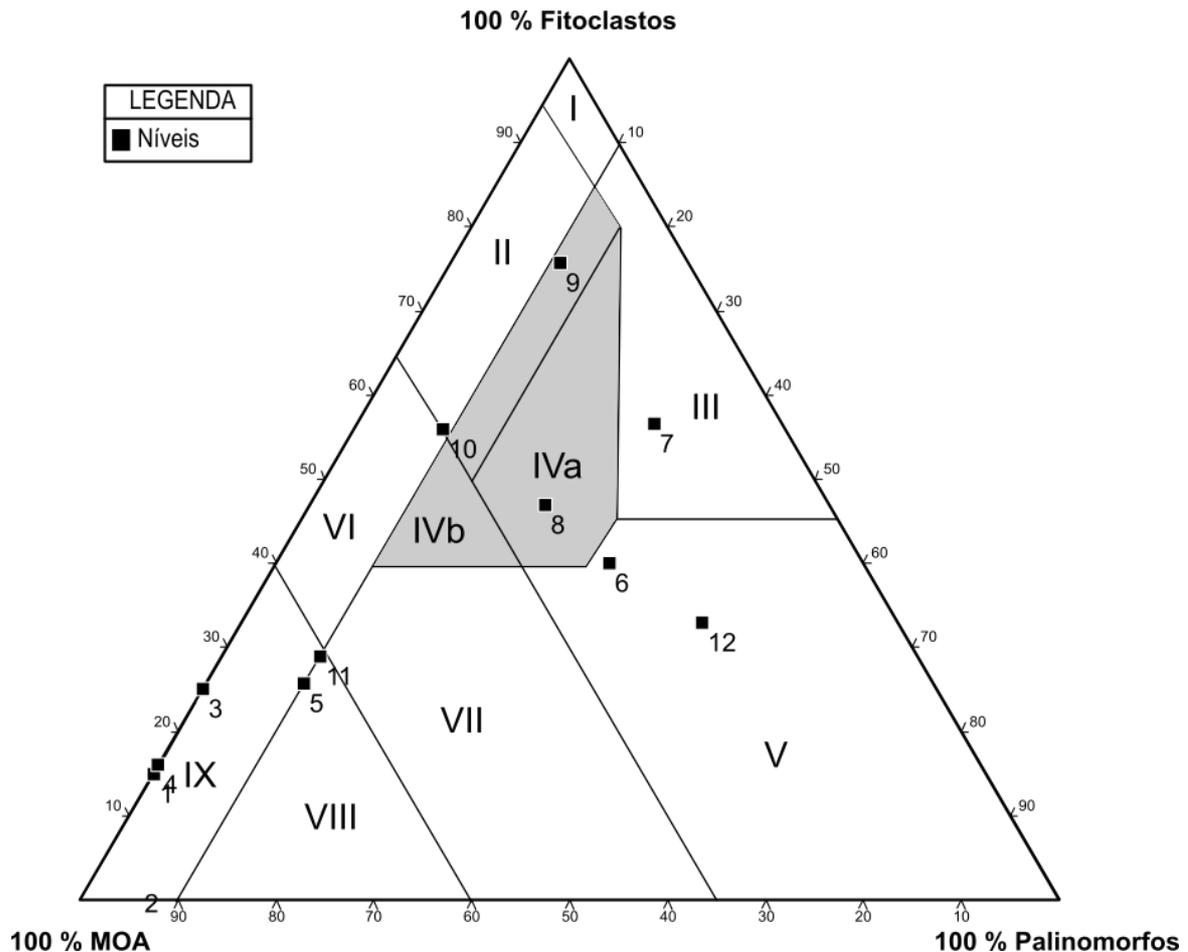


Figura 15. Diagrama ternário MOA - FITOCLASTO - PALINOMORFO para o intervalo de 110 a 180 metros do Poço 1-UN-09-PI. Os números de 1 a 12 representam os níveis amostrados, do topo para a base do intervalo. Baseado no Diagrama MOA-FITOCLASTO-PALINOMORFO para ambientes marinhos de Menezes *et al.* (2008).

6 DISCUSSÕES

6.1 POSICIONAMENTO BIOCRONOESTRATIGRÁFICO

Quanto ao posicionamento biocronoestratigráfico, os resultados taxonômicos sugerem que o material do poço 1-UN-09-PI (Caxias, MA), pertence à Zona *Raistrickia cephalata* (PLAYFORD & DINO, 2000 a, b) (*Moscoviano Superior*, *Pensilvaniano*, *Carbonífero Superior*) corroborando com o proposto por Souza *et al.* (2010). Mais precisamente, compreende idades entre 307.0 ± 0.1 e 315.2 ± 0.2 Ma (*International Commission on Stratigraphy* (COHEN *et al.*, 2013; v2019/05).

Contudo, tal posicionamento se restringe aos níveis mais basais, onde fora possível identificar os táxons de palinórfos. Apesar dos três últimos níveis, da base

para o topo, apresentarem raros palinomorfos, não fora possível identificá-los pelo estado de preservação.

Diferente da metodologia utilizada por Dino & Playford (2002), o critério utilizado para definição do posicionamento bioestratigráfico foi o de biozona de intervalo, caracterizada pelo aparecimento e desaparecimento de táxons, pois não fora possível atribuir abundância a quaisquer táxons registrados. No presente estudo, foi utilizado como critério para o posicionamento bioestratigráfico o registro de táxons guia como *Raistrikia cephalata*, que é restrita à *Zona Raistrikia cephalata* (PLAYFORD & DINO, 2000 a, b) e *Limitisporites amazonensis*, assim como em Souza *et al.* (2010) (Figura 16).

Em relação ao zoneamento proposto por Playford & Dino (2000 a, b), fora verificada uma maior amplitude sobre o intervalo de ocorrência de determinados táxons, como *Costatascyclus crenatus*, *Florinites occultus* e *Vallatisporites arcuatus*, assim como registros de espécimes do gênero *Hamiapollenites*, correspondente à palinozonas mais jovens. Tais resultados podem ser interpretados pelo fato de que o biozoneamento utilizado corresponde ao da bacia vizinha, Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000 a, b).

Quanto ao registro de *Hamiapollenites*, a atualização do biozoneamento inédito da Bacia do Amazonas (UFRGS, 2014), já altera a amplitude de ocorrência desse táxon para idades mais antigas, corroborando com o pressuposto do presente estudo. Saliento que, em detrimento da não publicação dos dados ainda, não é possível fazer uma comparação mais detalhada de tal biozoneamento.

MONTE ALEGRE	ITAITUBA	NOVA OLINDA	ANDIRÁ	FORMAÇÕES			
				<i>Waltzispota polita</i>			
				<i>Lophotriletes lentiginosus</i>			
				<i>Potomeisporites marleniae</i>			
				<i>Costatascyclus crenatus</i>			
				<i>Protohaploxypinus amplius</i>			
				<i>Spalaeotriletes triangulus/arenaceus</i>			
				<i>Striomonasaccites ovatus</i>			
				<i>Potomeisporites novicus</i>			
				<i>Caheniasaccites ovatus</i>			
				<i>Plicatipollenites malabarensis</i>			
				<i>Cannanoropollis korbaensis</i>			
				<i>Laevigatosporites vulgaris</i>			
				<i>Potomeisporites spp.</i>			
				<i>Florinites occultus</i>			
				<i>Florinites pellucidus</i>			
				<i>Potomeisporites seorsus</i>			
				<i>Potomeisporites elegans</i>			
				<i>Cannanoropollis lanakii</i>			
				<i>Meristocarpus explicatus</i>			
				<i>Mabuitasaccites crucistriatus</i>			
				<i>Striomonasaccites incrassatus</i>			
				<i>Illinites unicus</i>			
				<i>Potomeisporites congoensis</i>			
				<i>Limitisporites scitulus</i>			
				<i>Vallatisporites arcuatus</i>			
				<i>Barakarites rotatus</i>			
				<i>Endosporites globiformis</i>			
				<i>Cycadopites sp. cf. C. follicularis</i>			
				<i>Crucisaccites sp. cf. C. latisulcatus</i>			
				<i>Stristosporites heyleri</i>			
				<i>Apiculatasporites daemonii</i>			
				<i>Stratopodocarpites spp.</i>			
				<i>Potomeisporites pyriferus</i>			
				<i>Lunatisporites onesosus</i>			
				<i>Polarisaccites bilateralis</i>			
				<i>Raistrickia cephalata</i>			
				<i>Peppersites ellipticus</i>			
				<i>Limitisporites amazonensis</i>			
				<i>Portaites gondwanensis</i>			
				<i>Vittatina costabilis</i>			
				<i>Vittatina saccata</i>			
				<i>Vittatina subsaccata</i>			
				<i>Vittatina vittifera</i>			
				<i>Lueckisporites virkkiae</i>			
				<i>Corisaccites alutas</i>			
				<i>Hamiapollenites andiraensis</i>			
				<i>Hamiapollenites karoensis</i>			
				<i>Hamiapollenites fusiformis</i>			
				<i>Pakhapites fusus</i>			
				<i>Laevigatosporites minor</i>			
				<i>Thymospora obscura</i>			
				<i>Verrucosisporites insuatus</i>			
				<i>Tornopollenites toreutos</i>			
<i>Spalaeotriletes triangulus</i>	<i>Striomonasaccites incrassatus</i>	<i>Illinites unicus</i>	<i>Striato-sporites heyleri</i>	<i>Raistrickia cephalata</i>	<i>Vittatina costabilis</i>	<i>Tornopollenites toreutos</i>	PALINOZONAS

Figura 16. Quadro de distribuição de táxons extraído e modificado de Playford & Dino (2000 b), com a indicação dos táxons registrados no presente trabalho. Em vermelho os táxons restritos à Zona *Raistrickia cephalata*; em verde os táxons pertencentes à Zona; em amarelo os táxons cuja amplitude não é registrada na Zona *Raistrickia cephalata*.

6.2 PALEOAMBIENTES

As interpretações paleoambientais do presente estudo foram apoiadas nos dados litológicos do poço, no estudo de palinofácies e nos estudos já publicados para a unidade (LEITE, 1975; LIMA FILHO, 1991; VIEIRA *et al.*, 2017; ABELHA, 2008; MEDEIROS, 2015; BARBOSA *et al.*, 2016).

Além do caráter consensual de que o intervalo representa uma plataforma rasa, os trabalhos de Vieira *et al.* (2017), Abelha (2008), Medeiros (2015) e Barbosa *et al.* (2016) destacam um aumento da aridez para o topo da Formação Piauí. Isso é interpretado pelos autores com base no aumento de depósitos de anidrita, sílex e depósitos eólicos em direção ao topo da Formação. Essa interpretação é reforçada pelos dados palinofaciológicos do presente estudo. A base da sucessão apresenta um registro rico em elementos continentais, representativos de uma macroflora de ambientes higrófilos, hidrófilos, mesófilos e xerófilos, o que aponta para condições climáticas mais úmidas no período.

Além das interpretações de tais trabalhos, de acordo com as reconstruções paleogeográficas para o Moscoviano (SCOTESE, 2014), a bacia estava inserida em um contexto de mar restrito e raso, em média a baixa latitude, e em um sistema transgressivo (Figura 17).

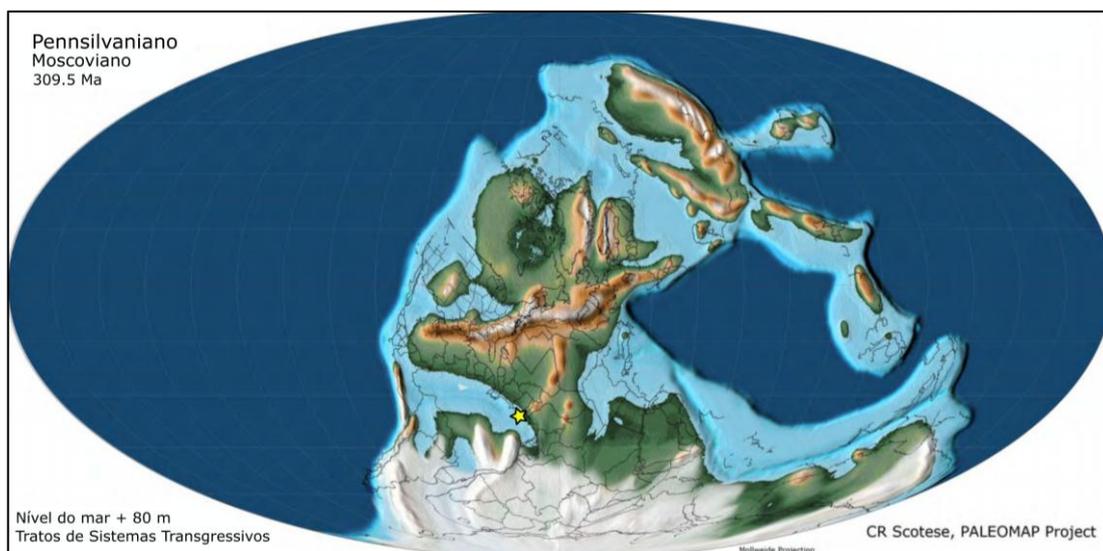


Figura 17. Reconstrução paleogeográfica para o período Moscoviano, com a localização da área de estudo representada pela estrela no mapa. Extraído e modificado de Scotese (2014).

Em suma, é possível observar que apesar desses autores apresentarem estudos com enfoque e escalas diferentes, ambos atribuem contexto marinho raso para o topo

da Formação Piauí, com aumento da aridez em relação aos intervalos de base. Como supradescrito, o presente estudo confere à porção de base do intervalo selecionado uma associação rica em palinomorfos, sobretudo elementos continentais. Esses elementos estão associados e indicam a existência de uma macroflora terrestre para o período. Sendo assim, a porção de base do intervalo representa condições paleoclimáticas mais úmidas em relação ao topo, no limite com a Fm. Pedra de Fogo, corroborando com os estudos já publicados.

Além das inferências paleoclimáticas, as palinofácies permitem também fazer inferências sobre a tendência proximal vs. distal em relação à trajetória talude → bacia. Os diferentes níveis identificados (nível 1 ao 12) indicam a alternância de condições mais proximais e distais dentro de um sistema plataformal. Essas movimentações de alta frequência da linha de costa também são observadas na sucessão estratigráfica apresentada por Abelha (2008) e Vieira *et al.* (2017) que descrevem intercalações métricas de depósitos eólicos e fluviais com depósitos costeiros. Os níveis da base apontam para um ambiente mais proximal em relação aos níveis superiores, com maior aporte de elementos continentais e fitoclastos não-opacos. No geral, as associações refletem um ambiente de baixa energia, com pouco transporte, sendo o material mais bem preservado em relação ao topo do intervalo. Em relação as sucessões interpretadas por Abelha (2008) como lobos deltaicos de sistemas fluviais, essas possuem registro característico representadas pelo nível 7 (Campo III - Plataforma óxica heterolítica; “plataforma proximal”) com abundância absoluta de fitoclastos, sobretudo os não opacos, sobre os demais elementos. Já os níveis 8 e 9 são enquadrados num ambiente de transição plataforma-bacia (Campo IVa) em condições disóxicas de deposição. Apesar de apresentarem registros de *Leiosphaeridea*, esses podem também ocorrer em ambientes mais proximais como lagunares e plataformais rasos, sob condições hipersalinas.

Essas interpretações são concordantes com o estudo litofaciológico desenvolvido por Abelha (2008), sendo tais associações possíveis de serem encontradas em sistemas deposicionais plataformais rasos.

Já nos níveis superiores, a alta razão de matéria orgânica amorfa e fitoclastos, sobretudo os opacos, sobre os outros elementos normalmente é indicativa de um ambiente mais distal. Reforçando isso, de acordo com o Diagrama Ternário MOA-

FITOCCLATO-PALINOMORFO (Figura 15) tal associação representa ou uma plataforma distal ou uma plataforma carbonática (Campo IX) (MENEZES *et al.*, 2008). Se analisarmos a litologia correspondente aos níveis amostrados, o contexto de plataforma carbonática, com planícies de maré e *sabkhas* é mais aceitável, visto que a associação é composta por calcilutitos, pelitos e arenitos finos, com bioturbação intensa, feições estromatolíticas e estruturas de ressecamento, indicativas de exposição subaérea. É importante salientar que, nesse caso, a bioturbação contribui em muito para a oxidação dos constituintes orgânicos, o que pode mascarar as interpretações a respeito da contribuição de elementos continentais.

Quanto às afinidades paleobotânicas, o registro de grãos de pólen monossacados, como os gêneros *Caheniasaccites*, *Cannanoropollis*, *Plicatipollenites* e *Potonieisporites*, é indicativo da presença de coníferas (Coniferales). Já os bissacados e estriados possuem afinidade com as glossopterídeas (Glossopteridales).

As espécies de esporos registradas possuem afinidade paleobotânica principalmente com Sphenopsida, Lycopsida, Filicopsida, grupos representantes de plantas vasculares. Como supracitado, para a Formação Piauí são reconhecidos espécimes de Sphenopsida como *Calamites*, já extinta, cujos exemplares atuais são popularmente conhecidos como “cavalinha”, e Filicopsida como *Pecopteris*, semelhante às samambaias atuais. Os dois primeiros grupos são característicos de ambientes higrófilos, junto à corpos d’água, já o terceiro ocorre associado a ambientes mesófilos.

Isso posto, o presente estudo contribuiu para os modelos paleoambientais existentes, tendo em vista a assinatura e interpretação do registro fossilífero sobre os ambientes terrestres e deposicionais, conforme sugerem os blocos-diagramas da Figura 18.

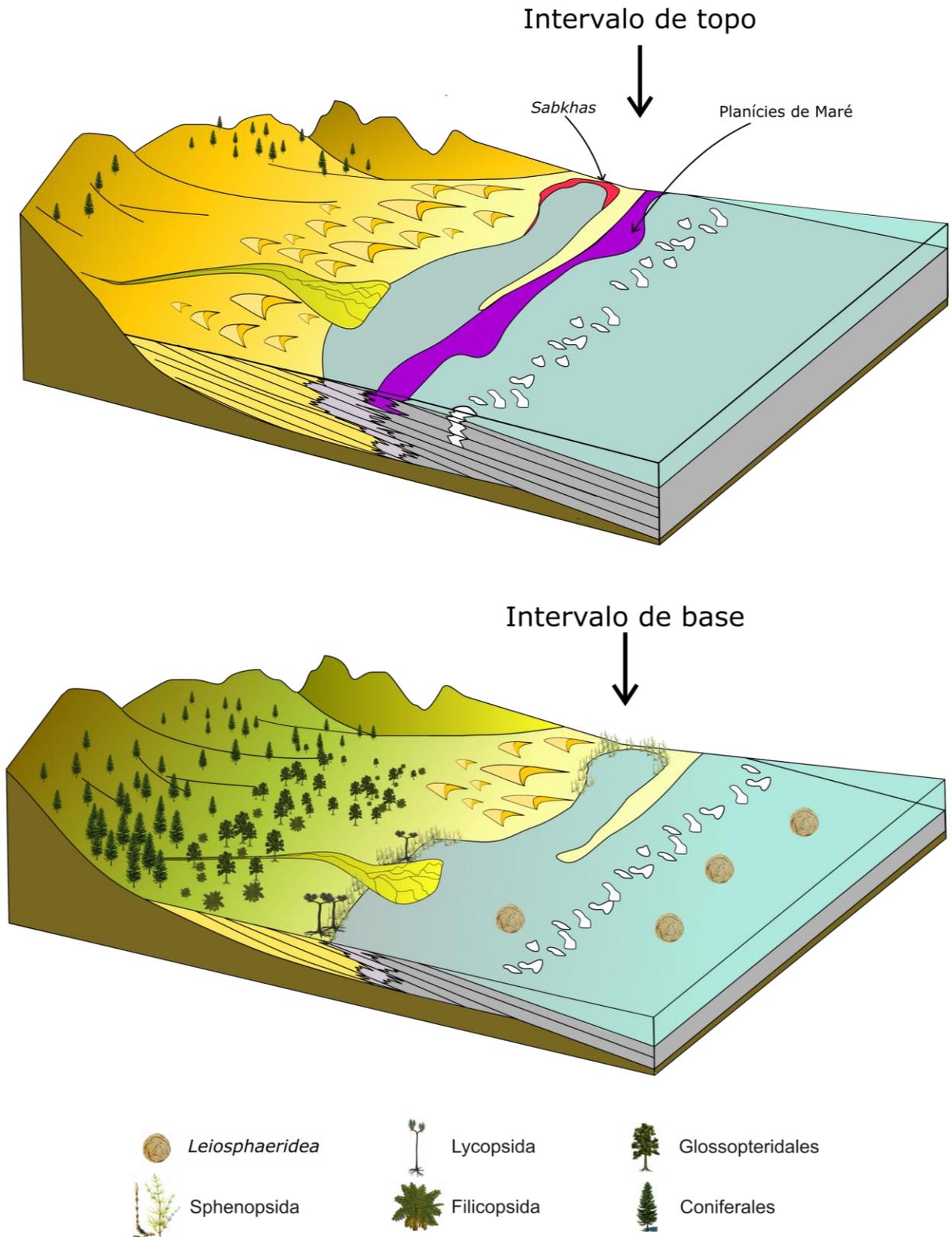


Figura 18. Blocos-diagramas ilustrativos dos ambientes deposicionais interpretados para os intervalos de base e topo do Poço 1-UN-09-PI, com as respectivas associações paleoflorísticas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em termos de avaliação do potencial palinoestratigráfico da Fm. Piauí, foi verificado por meio do processamento laboratorial de amostras de afloramento, que essas possuem taxa de recuperação muito baixa em relação às amostras provenientes de testemunhos de sondagem. Fato que contribui para que os estudos futuros direcionem esforços para aquisição de dados em subsuperfície.

O presente estudo possibilitou a ampliação da lista taxônomica de 29 (SOUZA *et al.*, 2010) para 63 táxons de palinomorfos para o intervalo de topo do Poço 1-UN-09-PI (Formação Piauí, Grupo Balsas).

- Souza *et al.* (2010): 29 táxons, Zona *Raistrickia cephalata* (Pennsylvaniano, Moscoviano Superior).
- O presente estudo: 63 táxons, Zona *Raistrickia cephalata* (Pennsylvaniano, Moscoviano Superior).

Apesar de a associação palinológica registrada ser característica da Zona *Raistrickia cephalata*, foram encontrados espécimes de *Vallatisporites arcuatus* e *Florinites occultus*, com desaparecimento registrado na palinozona mais antiga, *Striatosporites heilery*, assim como espécimes do gênero *Hamiapollenites*, cujo aparecimento é registrado apenas na palinozona mais jovem, *Vittatina costabilis*. Considerando ainda a possibilidade de retrabalhamento, ambos os casos podem ser explicados pelo fato de que fora usado um zoneamento publicado para a bacia vizinha, Bacia do Amazonas, sendo, portanto, o presente estudo indicativo para a criação de um novo biozoneamento para o intervalo Permocarbonífero da Bacia do Parnaíba.

Quanto à contribuição nas interpretações paleoambientais para o intervalo selecionado, foi possível correlacionar os resultados palinofaciológicos com os modelos paleoambientais existentes, assim como aprimorar esses com as associações paleoflorísticas determinadas.

Para estudos futuros, é sugerido o investimento em mais estudos de cunho palinológico e estratigráfico em subsuperfície para o Intervalo Permocarbonífero da

Bacia do Parnaíba, a fim de contribuir não só para o registro fossilífero, como também para distribuição e correlação desse por toda sua extensão.

REFERÊNCIAS

ABELHA, M. **Análise faciológica da Formação Piauí e da porção basal da Formação Pedra de Fogo (Bacia do Parnaíba) no testemunho de sondagem do poço 1–UN–09–PI.** Orientador: Leonardo Borgui. 2008. 35 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Rio de Janeiro, 2008.

ANELLI, L. E. **Pelecípodes da Formação Piauí (Pensilvaniano Médio), Bacia do Parnaíba, Brasil.** 1994. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

ANELLI, L. E. **Invertebrados Neocarboníferos das formações Piauí (Bacia do Parnaíba) e Itaituba (Bacia do Amazonas): taxonomia; análise cladística das subfamílias oriocrassatellinae (crassatellacea, bivalvia) e neospiriferinae (spiriferoidea, brachiopoda).** 1999. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ANTUNES, R. L.; AZEVEDO, R.L. Micropaleontologia e Bioestratigrafia na Indústria do Petróleo. In: CARVALHO, I. S. **Paleontologia: microfósseis e paleoinvertebrados.** 2 vol. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

BARBOSA, É. N.; CÓRDOBA, V. C.; SOUSA, D. do C. Stratigraphic evolution of the Upper Carboniferous-Lower Triassic Sequence, Parnaíba Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 2, p. 181-198, 2016.

CAMPANHA, V. A.; ROCHA-CAMPOS, A. C. Alguns microfósseis da formação Piauí (neocarbonífero), Bacia do Parnaíba. **Boletim IG**, v. 10, p. 57-67, 1979.

CAPUTO, M. V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V. M. M. **Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Parnaíba.** v. 7, n. 81, p. 1-6. Fundação Paleontológica Phoenix, 2005.

COHEN, K.M., FINNEY, S.C., GIBBARD, P.L. & FAN, J.-X. The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204. (2013; v2019/05). Disponível em: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2019-05.pdf>

CRUZ, N. M C. Paleopalínologia. In: CARVALHO, I. S. **Paleontologia: microfósseis e paleoinvertebrados.** 2 vol. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

DINO, R.; PLAYFORD, G. Stratigraphic and palaeoenvironmental significance of a Pennsylvanian (Upper Carboniferous) palynoflora from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, northeastern Brazil. **Paleontological Research**, v. 6, n. 1, p. 23-40, 2002.

DOLIANITI, E. Relações entre as floras paleozóicas do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 44, p. 113-117, 1972.

GÓES, A. M. **Formação Poti (Carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1995

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 8, n. 1, p. 57-67, 1994.

LEITE, J.F.; ABOARRAGE, A.M. & DAEMON, R.F. **Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba**. Recife, DNPM/CPRM, 5 v. (relatório interno, inédito). 1975.

LIMA FILHO, F. P. **Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí (Pensilvaniano), Bacia do Parnaíba**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1991.

MEDEIROS, R. S. P. **Depósitos carbonáticos-siliciclásticos da porção superior da Formação Piauí, carbonífero da bacia do Parnaíba, região de José de Freitas-PI**. Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 73 f. : il. ; 30 cm, Belém, 2015.

MENEZES, T. R. *et al.* Fácies orgânica: conceitos, métodos e estudos de casos na indústria do petróleo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2 suppl, p. 80-96, 2008.

MENDONÇA FILHO, J. G. **Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do Paleozóico Superior da bacia do Paraná, sul do Brasil**. 1999. 324 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 1999.

MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, M. A.; SANT'ANA, A. J.; SOUZA, J. T. Palinofácies. In: CARVALHO, I. S **Paleontologia: conceitos e métodos**. 1 vol. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.

PLAYFORD, G.; DINO, R. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part One. **Palaeontographica Abteilung B**, p. 1-46, 2000.

PLAYFORD, G.; DINO, R. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas, Brazil: Part Two. **Palaeontographica Abteilung B**, p. 87-145, 2000.

QUADROS, LP de; MELO, J. H. G. Método prático de preparação palinológica em sedimentos do Pré-Mesozóico. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 1, n. 2, p. 205-214, 1987.

SANTOS, M. E. de C. M.; DE CARVALHO, M. S. Salgado. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**. CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2009.

SCOTese, C.R., **Atlas of Permo-Carboniferous Paleogeographic Maps Mollweide Projection**), Maps 53 – 64, Volumes 4, The Late Paleozoic, PALEOMAP Atlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Evanston, IL. 2014.

SOUZA, P. A., MATZEMBACHER, L. T., ABELHA, M., & BORGHI, L. Palinologia da Formação Piauí, Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba: biocronoestratigrafia de intervalo selecionado do poço 1-UN-09-PI (Caxias, MA, Brasil). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 13, n. 1, p. 57-66, 2010.

TYSON, R. Palynofacies analysis. *In*: JENKINS, D. G. **Applied Micropaleontology**.. cap. 5, p. 153 - 191. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1993.

TYSON, R. **Sedimentary Organic Matter**. Organic facies and palynofacies. Londres: Chapman & Hall, 1995.

UFRGS. **Micropaleontologia das bacias Amazonas e Solimões: refinamento biocronoestratigráfico da seção pensilvaniana e permiana com base em palinologia, fusilinídeos e conodontes**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Relatório Final, 4 vols.3 anexos. 2014.

VIEIRA, L. V.; SCHERER, C. M dos S. Facies architecture and high resolution sequence stratigraphy of an aeolian, fluvial and shallow marine system in the Pennsylvanian Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 76, p. 238-256, 2017.

VAZ, P. T. *et al.* Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.