REVISTA DA ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO PIAUÍ

# OS MICROFÓSSEIS E A HISTÓRIA DA BACIA DO PARNAÍBA DURANTE O PENNSILVANIANO E O PERMIANO: IDADES E AMBIENTES SEDIMENTARES REVELADOS PELOS PALINOMORFOS

## Microfossils and the history of the Parnaíba Basin during the Pennsylvanian and the Permian: ages and sedimentary environments revealed by the palynomorphs

**Cristina Moreira Félix[1], Daiana Rockenbach Boardman[2], Eduardo Premaor[3], Edvaldo José Oliveira[4], Rafael Reis Bender[5], Ana Karina Scomazzon[6], Paulo Alves de Souza[7]**

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; cmfelixrs@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6865-7437
[2]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; daiana.boardman@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3140-9979
[3]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; eduardopremaor@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8977-8083
[4]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; contato.oedvaldo@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3730-8511
[5]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; rafael.reisbender@yahoo.de; ORCID: 0000-0002-7939-9987
[6]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; akscomazzon@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2189-2664
[7]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; paulo.alves.souza@ufrgs.br; ORCID: 0000-0001-9844-1530

**RESUMO:** Microfósseis de parede orgânica (palinomorfos) são ferramentas de grande valor para as Geociências, permitindo correlações a longas distâncias, assim como datações relativas de estratos rochosos, de natureza marinha ou continental. Embora dados palinológicos ainda sejam relativamente escassos para a Bacia do Parnaíba, as poucas contribuições se mostraram úteis para fins de interpretação paleoambiental, correlação e datações relativas em determinados materiais de subsuperfície, recuperados por meio de perfurações. Este artigo apresenta uma revisão detalhada das publicações sobre a palinologia do Grupo Balsas, abordando o significado bioestratigráfico e paleoecológico, bem como as implicações cronoestratigráficas. Os trabalhos palinológicos realizados até o momento na Bacia do Parnaíba indicam idade de 315,2 - 307,0 milhões de anos (Pennsilvaniano) para os níveis estudados da Formação Piauí, e 290,1 - 266,9 milhões de anos (Cisuraliano médio ao Lopingiano) para os níveis analisados da Formação Pedra de Fogo. Em termos de paleoambiente, o registro palinológico indica uma deposição em corpos d´água salinos com aumento da aridez ao final da Formação Piauí e estabelecimento de um clima quente e árido nos depósitos da Formação Pedra de Fogo. Estudos em andamento e perspectivas para o futuro das pesquisas palinológicas na bacia são discutidos.

**Palavras-chave:** Bacia do Parnaíba. Grupo Balsas. Palinologia.

**ABSTRACT:** Organic walled microfossils (palynomorphs) are tools of great value for the geosciences, allowing long distance correlations as well as relative dating of rock strata of both marine and continental nature. Although palynological data are still scarce for the Parnaíba Basin, the few available contributions have proven useful for the purposes of paleoenvironmental interpretation, correlation and relative dating on certain subsurface materials, recovered by drilling. This paper presents a detailed review of the publications about the palynology of the Balsas Group, including their biostratigraphic and paleoecologic significance as well as their chronostratigraphic implications. Thus far, palynological works



**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

carried out in the Parnaíba Basin indicate an age of 315.2 – 307.0 million years (Pennsylvanian) for the studied strata of the Piauí Formation and 290.1 – 266.9 million years (middle Cisuralian to Lopingian) for the analyzed strata of the Pedra de Fogo Formation. With regard to paleoenvironments, the palynological record points to a deposition in saline water bodies with increasing aridity at the end of the Piauí Formation and the establishment of a warm and arid climate in the deposits of the Pedra de Fogo Formation. Ongoing studies and perspectives for future palynological research within the basin are discussed.

**Keywords**: Parnaíba Basin. Balsas Group. Palynology.

## 1 Introdução

Palinomorfos são microfósseis de parede orgânica, de dimensões reduzidas (geralmente menores que 200 µm), relativos a organismos de natureza variada, comumente recuperados a partir de rochas sedimentares, em significativas quantidades. Esta área da micropaleontologia compreende uma grande diversidade de grupos biológicos, incluindo partes de vegetais (esporomorfos: esporos e grãos de pólen), de fungos (hifas e esporos), de protistas (cistos de dinoflagelados, algas clorófitas e foraminíferos de parede orgânica) e partes de alguns grupos animais (escolecodontes), além de organismos de afinidade biológica ainda duvidosa (*incertae sedis*, como os acritarcos) (TRAVERSE, 2007). Tal como na atualidade, todos esses organismos compunham parte dos ecossistemas pretéritos, sendo depositados em ambientes sedimentares subaquosos, sejam continentais (turfas, lagos, estuários, rios), sejam marinhos. Até a incorporação nos sedimentos, a história do transporte de cada palinomorfo é particular. Esporos e grãos de pólen, por exemplo, são partes do sistema reprodutivo de plantas terrestres; são transportados via aérea, por gravidade ou por cursos d'água até atingir um sítio deposicional, onde se acumulam, fazendo parte dos constituintes das rochas sedimentares. Outros palinomorfos, tais como os cistos algálicos, compõem o microplâncton dos ambientes aquáticos, livres na coluna d'água, vindo a decantar no substrato após o encerramento de seu ciclo de vida. Neste caso, tal como no exemplo anterior, passam a fazer parte dos constituintes dos sedimentos e das rochas sedimentares.

Cada palinomorfo recuperado nas rochas sedimentares revela informações valiosas sobre as variáveis paleoecológicas, paleoambientais e paleoclimáticas dos ecossistemas que faziam parte, tais como as condições de temperatura, de umidade, profundidade da lâmina d'água, dentre outras.

A **Palinologia** constitui uma das metodologias aplicadas no âmbito do "Projeto BIOCRONORTE – Biocronoestratigrafia das bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões" que constitui um termo de cooperação entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRÁS), a Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS), e Agência Nacional do Petróleo (ANP), vigente entre 2019 e 2023. Corresponde ao ramo da micropaleontologia que se ocupa do estudo de microfósseis de parede orgânica, denominados "palinomorfos".

Tamanha diversidade taxonômica reflete na relevância e abrangência dos palinomorfos recuperados de rochas dos mais diversos ambientes sedimentares, sejam marinhos, transicionais ou continentais. Neste sentido, os esporomorfos, representados por grãos de pólen e esporos de plantas terrestres, assumem particular importância. Além da

abundância, alta capacidade de preservação e fácil identificação, apresentam ampla dispersão, atuando como partículas sedimentares nos ambientes deposicionais. (SEYVE, 1990). Essa particularidade permite correlacionar rochas de origem continental com as de origem marinha, suprindo uma deficiência de grupos fósseis como os conodontes e foraminíferos, por exemplo, que embora apresentem altas taxas evolutivas, estão limitados às fácies marinhas.

Associações compostas por esporos, grão de pólens e algas continentais refletem as condições paleoecológicas e paleoambientais de determinados nichos continentais. Por outro lado, associações dominadas por acritarcos (cistos algálicos indeterminados) e algas prasinofíceas indicam as condições de sedimentação marinha dos depósitos onde ocorrem, mesmo que esporos e poucos grãos de pólens estejam presentes, oriundos do ambiente terrestre. Tais interpretações são integradas com outras, advindas dos demais fósseis ocorrentes e das características sedimentares e estratigráficas relacionadas. Por esses motivos, os palinomorfos são muito utilizados no entendimento da evolução das bacias sedimentares.

Para uma análise palinológica, as rochas mais propensas à recuperação de palinomorfos são as de granulometria fina, ricas em matéria orgânica (pelitos e siltitos escuros), principalmente as formadas em ambientes redutores/não oxidantes. Cerca de 20 g são necessários para a recuperação destes microfósseis. Após a coleta, os procedimentos laboratoriais envolvem a maceração (desagregação física) e a dissolução de amostras de rocha com o uso de ácido fluorídrico e clorídrico, de modo a remover a matriz mineral, concentrando as partículas orgânicas (QUADROS & MELO, 1987). Consequentemente, o que resta após estes procedimentos é o resíduo palinológico, contendo os palinomorfos e mais outros tipos de matéria orgânica (fitoclastos e matéria orgânica amorfa). Com poucas gotas deste resíduo são montadas lâminas palinológicas, concernentes a cada nível estratigráfico amostrado. A análise das associações palinológicas é efetuada por meio de microscopia óptica de luz branca, embora certos palinomorfos translúcidos sejam observados melhor sob luz fluorescente. Para a identificação dos tipos de microfósseis presentes, utiliza-se uma vasta bibliografia especializada para descrição e comparação dos espécimes. À exceção de formas recentes, de afinidade biológica conhecida, a identificação e a classificação de palinomorfos paleozoicos são baseadas em critérios morfológicos (morfotaxonomia), uma vez que critérios filogenéticos são de difícil aplicação (TRAVERSE, 2007).

Este trabalho tem por objetivo apresentar o atual conhecimento sobre a palinologia do intervalo pennsilvaniano-permiano da Bacia do Parnaíba, com uma análise crítica sobre os dados palinológicos publicados até o momento. Além disto, apresenta as pesquisas em andamento, cuja amostragem implica na ampliação do conhecimento sobre os elementos florísticos (relacionados às plantas mães dos esporos e grãos de pólen ocorrentes) e representantes marinhos (cistos de algas e outros elementos afins) que faziam parte dos ecossistemas desta parte do território brasileiro durante o Pennsilvaniano e o Permiano.

## 2 Revisão dos estudos palinológicos do Pennsilvaniano e Permiano da Bacia do Parnaíba

A Bioestratigrafia é um dos métodos da estratigrafia que aborda a distribuição dos fósseis no registro geológico e a organização dos estratos em unidades com base no conteúdo fóssil presente (MURPHY & SALVADOR, 1999). A Bioestratigrafia busca caracterizar as rochas a partir do seu conteúdo fossilífero, dividindo-as em pacotes de rochas similares entre si que permitem estabelecer correlações. Essas correlações podem se dar entre dois ou mais pontos, sejam eles locais, regionais dentro da mesma bacia sedimentar e, até mesmo, entre



**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

bacias diferentes. As unidades bioestratigráficas são denominadas biozonas (ou zonas) que podem ser divididas em subzonas ou agrupadas em superzonas (PETRI *et al*., 1986, MURPHY & SALVADOR, 1999) e são definidas, exclusivamente, pelo seu conteúdo fossilífero independentemente do tipo de rocha, paleoambiente e intervalo de tempo que sejam abrangidos por elas.

No Brasil, os palinomorfos têm sido amplamente empregados para fins bioestratigráficos desde a década de 1970, com a proposição de zoneamentos (DAEMON & QUADROS, 1970; PLAYFORD & DINO, 2000a, 2000b; SOUZA, 2006), desempenhando um papel imprescindível na caracterização do arcabouço cronoestratigráfico das bacias sedimentares paleozoicas e na compreensão de sua evolução geológica, uma vez que oportunizam datações relativas e correlações de distintos estratos rochosos.

Na Bacia do Parnaíba, mesmo com variados trabalhos palinológicos realizados para os depósitos pennsilvanianos e permianos (MÜLLER, 1962; CRUZ *et al.* , 1973; LEITE *et al.*, 1975; BHARADWAJ *et al.*, 1976; MELO *et al.*, 1998; DINO & PLAYFORD, 2002; DINO *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2010; BETELLA, 2019) não há, até o momento, um zoneamento estabelecido. Esses trabalhos, quando não se tratam de relatórios internos e restritos, são geralmente pontuais, envolvendo poucas seções estratigráficas, o que limita os posicionamentos cronoestratigráficos das unidades sobre as quais versam. Alguns poucos níveis foram datados pelas ocorrências destes microfósseis.

O primeiro estudo de cunho bioestratigráfico realizado em uma bacia terrestre brasileira foi proposto para a Bacia do Parnaíba. Na década de 1960, o paleontólogo alemão Helmut Müller, também conhecido como "O Senhor Vegetal", esteve no Brasil estudando os palinomorfos da bacia (informação verbal L.P. QUADROS, 2021). A escolha desta bacia como pioneira em estudos palinoestratigráficos se deu pela melhor preservação de palinomorfos de idade devoniana. De acordo com Quadros (2011), o renomado paleontólogo ainda ministrou um curso de palinologia no distrito da Petrobras em Salvador, tendo como um de seus alunos o geólogo Roberto Ferreira Daemon, que viria a ser um dos autores nos zoneamentos palinológicos das bacias do Paraná (DAEMON & QUADROS, 1970) e Amazonas (DAEMON & CONTREIRAS, 1971), na década de 1970.

Para a Formação Piauí, MÜLLER (1962) estabeleceu três zonas palinológicas, a saber, K, L e M, para as quais atribuiu idade pennsilvaniana. Para a Formação Pedra de Fogo, foram estabelecidas as palinozonas I e J, interpretadas como de idade permiana. Embora seja um trabalho pioneiro, a utilização desse esquema bioestratigráfico permaneceu limitada, por se tratar de documento de acesso restrito.

Na década de 1970, com a necessidade de sistematizar as análises referentes às pesquisas de carvão na Bacia do Parnaíba, um novo esquema palinoestratigráfico foi proposto, com maior detalhamento da seção devoniana-mississipiana (LEITE *et al.*, 1975). CRUZ *et al.* (1973 *in* LEITE *et al.*, 1975) analisou 23 amostras da Formação Piauí e posicionou os estratos no Pennsilvaniano.

A partir do estudo de 12 amostras provenientes de afloramentos das bacias do Paraná e Parnaíba, BHARADWAJ *et al.* (1976) registraram a ocorrência de quatro assembleias de esporomorfos na Bacia do Paraná (A, B, C, e D) e três na Bacia do Parnaíba (A, B e C). As zonas foram correlacionadas entre si, com a proposição de seis intervalos bioestratigráficos distintos, alguns dos quais comuns em ambas as bacias. Do mais antigo para o mais jovem, receberam designação numérica de 1 a 6. Embora com alta diversidade específica, os problemas na utilização deste zoneamento são inúmeros, devido, principalmente, à pouca representatividade da amostragem em termos litoestratigráficos, irregularmente distribuída nas duas bacias.

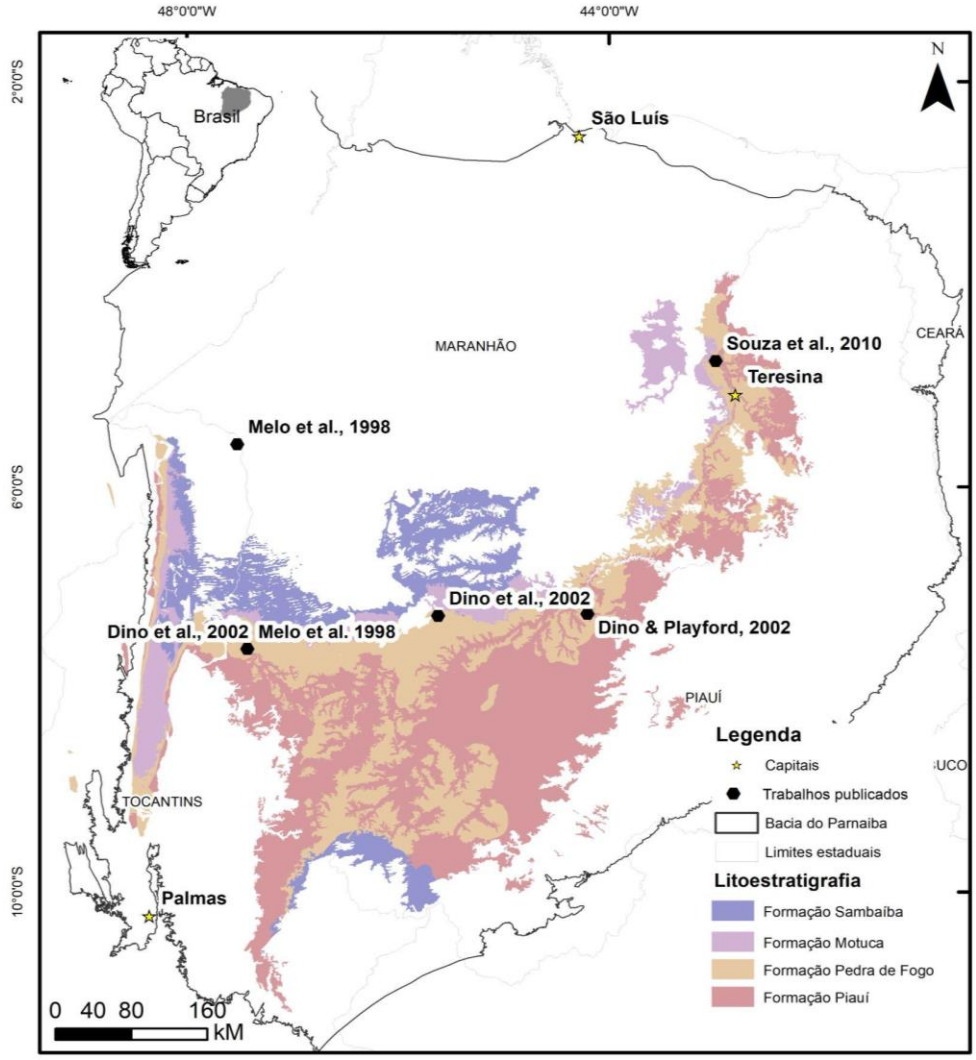
MELO *et al.* (1998) realizaram novas contribuições acerca da palinologia do intervalo compreendido entre o Devoniano e o Carbonífero das bacias sedimentares



**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

paleozoicas situadas no norte do Brasil. Foram analisados os poços 1-CL-1-MA e 2-IZ-1-MA, localizados na porção oeste da Bacia do Parnaíba (Figura 1). Os autores apontam que a ocorrência dos gêneros *Vittatina* e *Cheiledonites* se dá na porção superior da Formação Piauí. Por comparação com zonas do continente europeu, MELO *et al.* (1998) sugerem idade kasimoviana para o intervalo estudado, porém não descartam uma idade moscoviana ou mesmo gzheliana inicial.

**Figura 1:** Mapa de Bacia com Parnaíba ressaltando as unidades geológicas do Grupo Balsas, com destaque para a localização da amostragem trabalhos de cunho palinológico já realizados na bacia.






**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

DINO & PLAYFORD (2002) analisaram uma seção do poço 1-UN-23-PI, localizado na porção centro sul da Bacia do Parnaíba próximo ao município de Floriano, no estado do Piauí (Figura 1), com recuperação de palinomorfos em apenas uma amostra (profundidade de 145 m). A associação palinológica encontrada compõe-se predominantemente de esporos triletes (45%) e grãos de pólen monossacados de gimnosperma (45%); grãos de pólen bissacados teniados são menos representativos (7%). Algas como *Botryococcus* e *Brazilea* também foram identificadas. Os autores inferem similaridade da associação encontrada, principalmente pelo registro de *Cristatisporites*, *Vallatisporites*, *Spelaeotriletes*, *Striatosporites heyleri*, *Raistrickia cephalata* e *Illinites unicus* com a Zona *Ilinites unicus* da Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000a; 2000b). Tal posicionamento confere idade moscoviana inferior para a amostra analisada da Formação Piauí, principalmente pela presença de *I. unicus*, *S. heyleri* e *R. cephalata*. Os autores sugeriram condições paleoclimáticas áridas.

DINO *et al.* (2002) apresentaram dados dos poços 1-CL-1-MA, perfurados no município de Carolina, e 1-MS-1-MA, município de Mangabeiras, ambos no estado do Maranhão (Figura 1). Foram analisadas dez amostras, das quais cinco se revelaram férteis, estratigraficamente referentes ao Membro Trisidela da Formação Pedra do Fogo. As associações identificadas são dominadas por grãos de pólen bissacados e teniados (52%), bissacados não teniados (8%), monossacados (15%) e esporos triletes (25%), especialmente os gêneros *Punctatisporites* e *Verrucosisporites*; acritarcos e cistos algálicos são raros.

A associação palinológica descrita em DINO *et al.* (2002) representou a mais jovem até então registrada no Paleozoico da Bacia do Parnaíba e permitiu relacionar os níveis analisados com o intervalo I do zoneamento proposto por MÜLLER (1962). A presença de *Tornopollenites toreutos* e *Hamiapollenites karrooensis* indicou correlação com a Zona *Tornopollenites toreutos* da Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000a; 2000b), interpretada como correspondente ao Guadalupiano médio ao Lopingiano. O registro do gênero *Vittatina*, representado pelas espécies *V. costabilis*, *V. saccata* e *V. subsaccata*, associada a *Lueckisporites virkkiae*, *Corisaccites alutas*, *Hamiapollenites karrooensis*, *Rhizomaspora radiata* e *T. toreutos*, conferiu aos estratos analisados por DINO *et al.* (2002) uma idade não mais antiga que o Sakmariano. Para os autores, a porção analisada teve influência marinha, representada por raros acritarcos que ocorrem junto a cistos algálicos característicos de água doce como *Botryococcus braunii*. O domínio de grãos de pólen teniados integrado às características sedimentares e estratigráficas dos depósitos indicou clima quente, árido a semiárido.

SOUZA *et al.* (2010) analisaram 12 níveis do poço 1-UN-09, perfurado no município de Caxias, Maranhão (Figura 1), resultando em associações palinológicas férteis relativas à Formação Piauí. Grãos de pólen sacados são predominantes, especialmente bissacados teniados e monossacados não teniados. A ocorrência de esporos é subordinada; representantes relacionados ao microplâncton marinho (*Leiosphaeridia* spp.) foram também observados. Ao todo, foram identificados 29 táxons, considerando esporos (28%), grãos de pólen (66%) e algas (6%).

A correlação indicada por SOUZA *et al.* (2010) quanto ao zoneamento da Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000a; 2000b) é com a Zona *Raistrickia cephalata*, devido à ocorrência de espécies que limitam a base e o topo desta zona no material estudado. Espécies como *Apiculatasporites daemonii*, *Spealeotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Potonieisporites congoensis*, *Protohaploxypinus amplus* e *Striomonosaccites incrassatus* delimitam o topo dessa zona. Os táxons *Raistrickia cephalata*, *Verticipollenites* sp., *Striatopodocarpites* sp. e *Lunatisporites onerosus*, presentes na assembleia palinológica analisada, são restritos à zona sugerida. Tal posicionamento indica idade moscoviana superior para a seção.



**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

BETELLA (2019) reprocessou os mesmos 12 níveis analisados no trabalho de SOUZA *et al.* (2010) do poço 1-UN-09-PI (Figura 1). Ao todo, 62 táxons foram encontrados, denotando o primeiro registro na bacia de espécies tais como *Distriatites insolitus*, *Endosporites globiformes*, *Potonieisporites barrelis*, *P. congoensis*, *P. lelei*, *Caheniasaccites verrucosus*, *Crucisaccites monoletus*, *Plicatipollenites densus*, *Cannanoropollis mehta*, *Mabuitasaccites crucistriatus* e *Limitisporites amazonenses*. A correlação com o zoneamento da Bacia do Amazonas corrobora o posicionamento na Zona *Raistrickia cephalata* (PLAYFORD & DINO, 2000a; 2000b) proposto por SOUZA *et al.* (2010). A interpretação paleoambiental permitiu a inferência de ambiente plataformal raso, evoluindo para planícies de maré e *sabkhas*, configurando um aumento na aridez na porção superior do intervalo estudado da Formação Piauí.

## 3 Resultados

### *3.1 Análise bioestratigráfica*

Estudos palinológicos realizados nas unidades do Grupo Balsas ainda são muito escassos e as informações são provenientes de determinados intervalos estratigráficos da Formação Piauí apresentados por DINO & PLAYFORD (2002) e SOUZA *et al.* (2010). DINO & PLAYFORD (2002) documentaram associações de táxons característicos da Zona *Illinites unicus* da Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO 2000a; 2000b), como *Illinites unicus*, *Cristatisporites*, *Vallatisporites* e *Spelaeotriletes*, além de *Striatosporites heyleri*. SOUZA *et al.* (2010) obtiveram assembleias diversificadas de palinomorfos atribuídas à Zona *Raistrickia cephalata* de PLAYFORD & DINO (2000b), em virtude do registro da espécie epônima, além de *Verticipollenites* sp. A, *Striatopodocarpites* sp. A e *Lunatisporites onerosus*, posicionamento bioestratigráfico corroborado por BETELLA (2019).

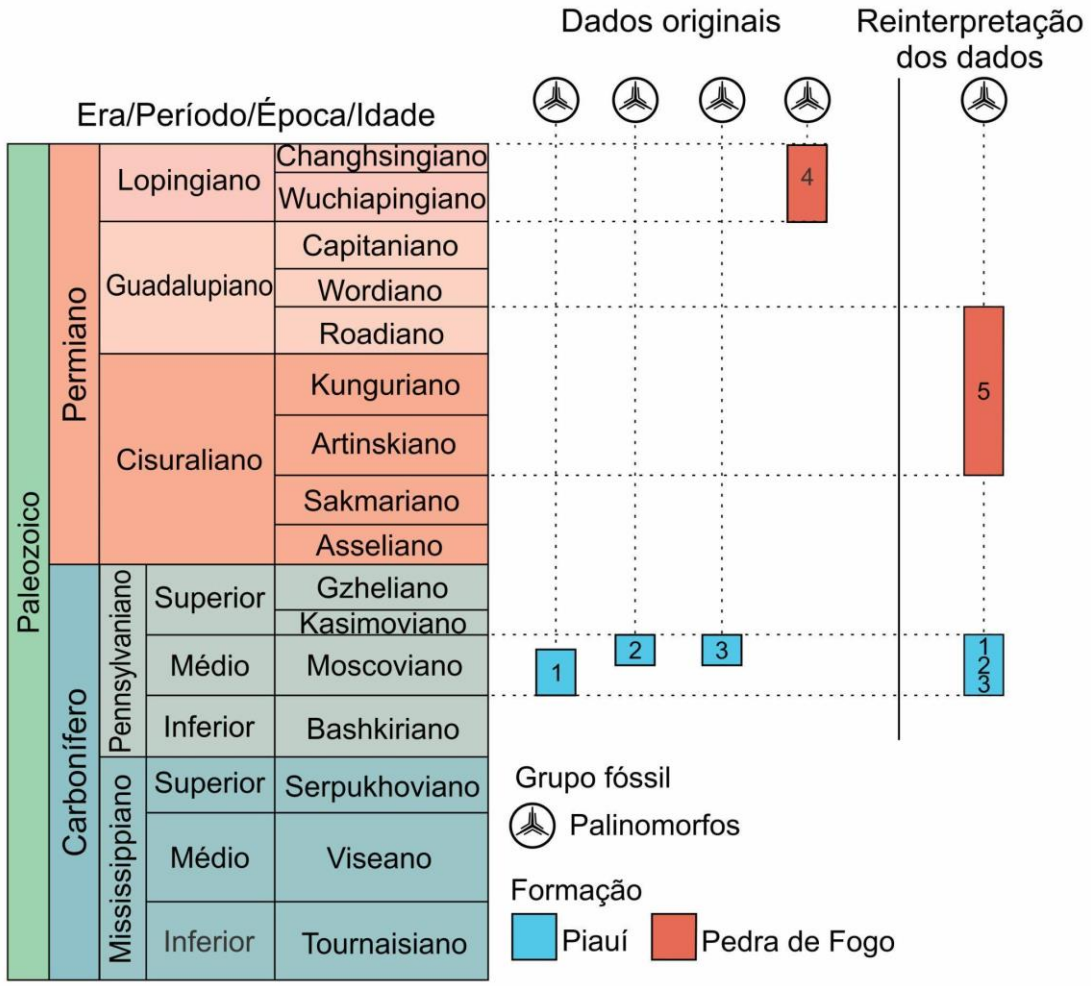
Com base no material já publicado, a reavaliação do conteúdo palinológico de intervalos da Formação Piauí (DINO & PLAYFORD, 2002; SOUZA *et al.*, 2010; BETELLA, 2019) indicou comparações com a Zona *Distriatites insolitus* (UFRGS, 2014, inédito), pela presença de *Striatosporites heyleri*, *Meristocorpus ostentus* e *Lunatisporites onerosus*, de idade pennsilvaniana média (Figura 2). Esta correlação infere que a idade da Formação Piauí remonta a 315,2 - 307,0 milhões de anos atrás.

Quanto à Formação Pedra de Fogo, as amostras analisadas na literatura (DINO *et al.*, 2002) permitiram o posicionamento da porção superior da formação (Membro Trisidela) em idade permiana superior, a partir do registro de *Tornopollenites toreutos* e *Hamiapollenites karrooensis*, que embasaram correlação com a Zona *Tornopollenites toreutos*, estabelecida para a Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO 2000a; 2000b). No entanto, de acordo com OLIVEIRA (2020), na Bacia do Gabão, esse táxon tem registro no início do Permiano, do Cisuraliano ao Guadalupiano médio (JARDINÉ, 1974). Considerando os dados sobre sua amplitude na Bacia do Paraná (PEREZ LOINAZE *et al.*, 2010; ROCHA *et al.*, 2020) e em determinadas seções da Argentina (GUTIERREZ *et al.*, 2011; BALARINO, 2014), *T. toreutos* tem alcance entre o Cisuraliano médio e o Lopingiano (Figura 2), o que poderia indicar idade mais antiga, entre 290,1 - 266,9 milhões de anos para o intervalo do Membro Trisidela da Formação Pedra de Fogo estudado por DINO *et al.* (2002).

A Figura 2 reproduz a análise bioestratigráfica de estudos palinológicos realizados nas unidades do Grupo Balsas. A coluna de reinterpretação de dados reflete o refinamento obtido através de correlações feitas com base em trabalho ainda inédito na Bacia do Amazonas (UFRGS, 2014). Neste contexto, os palinomorfos apresentam boa resolução

biocronoestratigráfica para os intervalos pennsilvaniano e permiano da Bacia do Parnaíba, exercendo papel essencial na caracterização do arcabouço cronoestratigráfico da bacia.

**Figura 2.** Distribuição cronoestratigráfica dos grupos paleontológicos registrados no Grupo Balsas. Carta cronoestratigráfica segundo COHEN *et al.* (2021). 1. DINO & PLAYFORD (2002); 2. SOUZA *et al.* (2010); 3. BETELLA (2019); 4. DINO *et al.* (2002); 5. Reinterpretado de DINO *et al.* (2002) com base UFRGS (2014).




*3.2 Inferências paleoecológicas*

A Formação Piauí apresenta registros de associações palinológicas diversificadas, constituídas por grãos de pólen monossacados, bissacados, esporos e algas. Esporos triletes e raros representantes monoletes ocorrem subordinados aos grãos de pólen. A presença de *Leiosphaeridia*, cisto de alga da divisão Prasinophyta, indica deposição em corpo d'água com alguma salinidade (DINO & PLAYFORD, 2002; SOUZA *et al.*, 2010; BETELLA, 2019). De acordo com Betella (2019), os resultados palinológicos apoiados pela litologia, dados palinofaciológicos e reconstruções paleogeográficas indicam um ambiente marinho plataformal raso, evoluindo para planícies de maré e *sabkhas*, configurando um aumento na aridez na porção superior da Formação Piauí.

A Formação Pedra de Fogo possui menos informações palinológicas do que a unidade pennsilvaniana da bacia. Os palinomorfos desta unidade são, predominantemente,



**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

grãos de pólen bissacados, alguns representantes monossacados e poliplicados. Esporos triletes não alcançam 30% de abundância. MÜLLER (1962) constatou que a Zona J, posicionada na base da Formação Pedra de Fogo, era caracterizada pelo reduzido número de esporos. Para DINO *et al.* (2002), a presença de raros acritarcos e a ocorrência de algas da divisão Clorophyta embasam a proposição de ambiente continental com influência marinha. O domínio de grãos de pólen teniados e a análise das fácies amostradas indicam clima quente, árido a semiárido.

*3.3 Pesquisas em andamento*

O estudo palinológico da seção pennsilvaniana-permiana da Bacia do Parnaíba que compõe o projeto "BIOCRONORTE – Biocronoestratigrafia das bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões" tem como objetivo principal auxiliar na ampliação dos conhecimentos paleontológicos e geológicos das bacias do norte do Brasil.

Para a Bacia do Parnaíba, além da revisão e atualização dos dados palinológicos já publicados e aqui apresentados, atividades de campo foram realizadas, com coletas em sítios já conhecidos como fossilíferos para outros grupos fósseis, como conodontes; novas localidades foram descobertas e amostradas, além de diversos poços estratigráficos anteriormente estudados em fase de processamento de amostras análise.

As análises palinológicas em andamento aqui apresentadas envolvem pesquisadores e discentes de graduação e pós-graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) envolvidos em pesquisas que abrangem desde a Formação Poti até a Formação Motuca. Com foco em datações relativas das unidades geológicas de interesse e na elaboração de um palinozoneamento próprio para a Bacia do Parnaíba, os resultados deste projeto multidisciplinar ampliarão consideravelmente o conhecimento das floras que colonizavam a região da Bacia do Parnaíba durante o Pennsilvaniano-Permiano aumentando o conhecimento sobre cronoestratigráfico e paleoambiental desta região.

Na Figura 3 são apresentados palinomorfos selecionados provenientes de níveis da Formação Piauí do poço 1-UN-09-PI. Trata-se de material inédito já resultado das análises palinológicas do Projeto BIOCRONORTE, muitos deles mencionados nos trabalhos aqui discutidos.

As espécies de esporos (gêneros *Calamospora*, *Endosporites* e *Vallatisporites*) registradas (Fig. 3: A, B e C) possuem afinidade paleobotânica principalmente com Sphenopsida e Lycopsida (BALME, 1995), grupos representantes de plantas vasculares, semelhantes às samambaias atuais. Esses grupos são característicos de ambientes higrófilos, junto a corpos d'água ou áreas alagadiças (mangues, pântanos e turfeiras).

O registro de grãos de pólen monossacados (Fig. 3: D, E e F), representados pelos gêneros *Cannanoropollis*, *Plicatipolenites*, *Caheniasaccites* e *Potonieisporites*, é indicativo da presença de uma flora representante das Cordaitales e/ou Coniferales (POTONIÉ, 1967; BALME, 1995), vegetação xerófila, de áreas mais elevadas, nas quais o lençol freático está localizado a uma distância métrica da superfície (IANNUZZI & VIEIRA, 2005).

Os grãos de pólen bissacados estriados (Fig. 3H), representados pelo gênero *Striatopodocarpites phaleratus* possuem afinidade tentativa com as glossopterídeas (Glossopteridales) segundo BALME (1995), formas extintas de ambientes mesófilos, ou seja, viviam ao redor dos corpos d'água, adaptadas a terrenos melhor drenados.

As algas prasinofíceas, representadas na figura 3I pelo gênero *Leiosphaeridia*, atualmente são encontradas principalmente em ambiente marinho, mas também têm seu registro em ambientes de águas doce ou salobra (TAPPAN, 1980). Seus representantes fósseis são encontrados em depósitos proximais (lagos rasos, áreas de deltas) e em sedimentos marinhos.



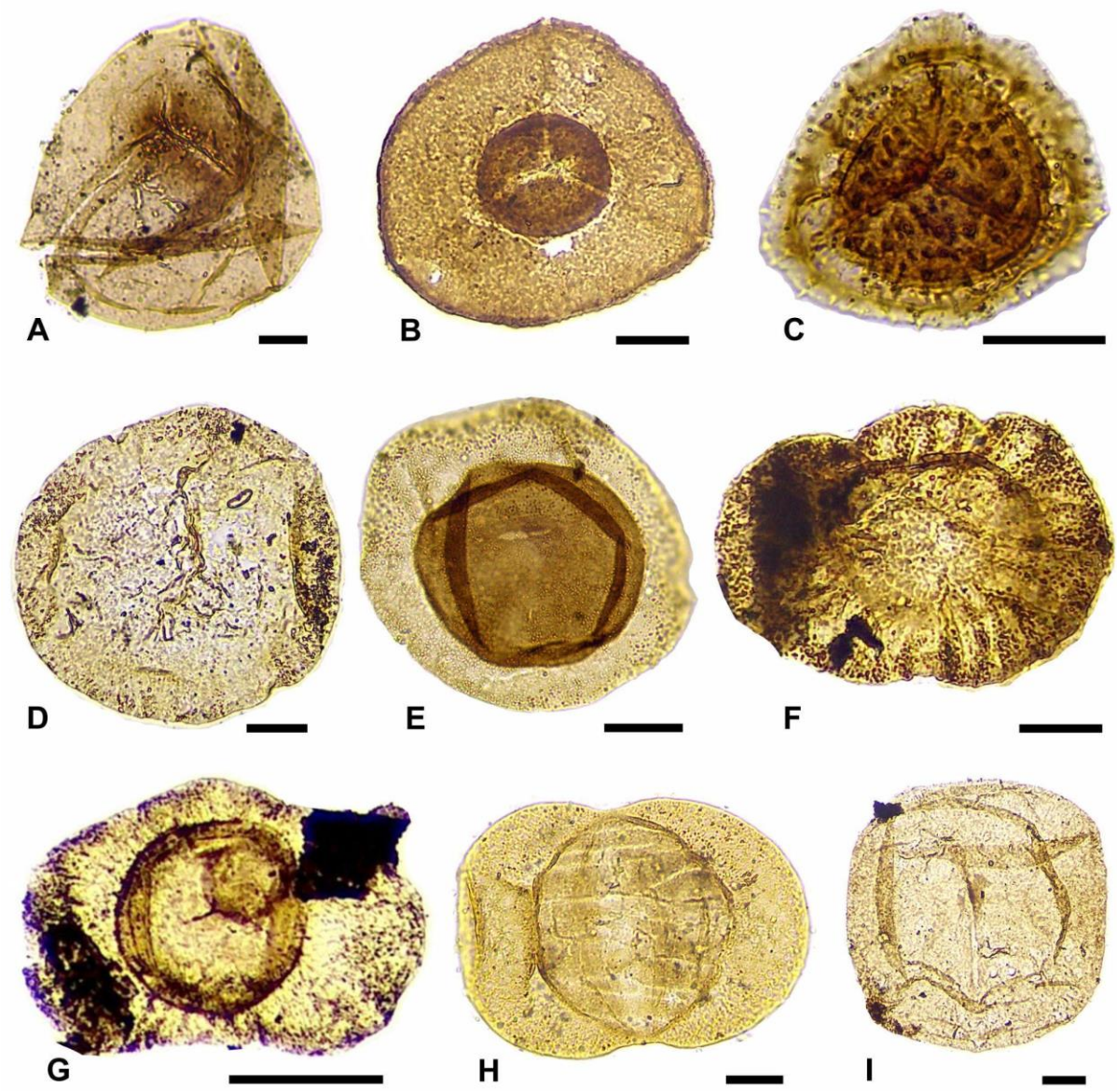
**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

Todas as vinculações dos esporos e dos grãos de pólen a grupos de plantas e a interpretação da preferência ecológica dos cistos algálicos são utilizadas de forma integrada, ou seja, analisando-se nível por nível, uma vez que cada amostra é um "retrato" de um determinado ecossistema, com condições ambientais particulares. Por esse motivo, o trabalho de coleta, recuperação e análise dos palinomorfos, bem com outros microfósseis presentes, é de vital importância para a devida reconstrução da história sedimentar da Bacia do Parnaíba.

**Figura 3.** Fotomicrografias de palinomorfos selecionados do poço 1-UM-09-PI da Formação Piauí, Bacia do Parnaíba. A*) Calamospora hartungiana* Schopf *in* Schopf, Wilson & Bentall 1944 (Lâmina MP-P 1434; profundidade 145, 88 m; coordenada England Finder S44/2); B) *Endosporites globiformes* (Ibrahim) Schopf, Wilson & Bentall 1944 (MP-P 14353; 151,60 m; C32); C) *Vallatisporites arcuatus* (Marques-Toigo) Archangelsky & Gamerro 1979 (MP-P 14352; 149,40 m; R60); D) *Cannanoropollis janakii* Potonié & Sah, 1960 (MP-P 14352; 149,40 m; S57/1); E) *Plicatipollenites gondwanensis* (Balme & Hennelly) Lele, 1964 (MP-P 14353; 151,60 m; D55); F) *Caheniasaccites flavatus* Bose & Kar *emend*. Azcuy & Di Pasquo, 2000 (MP-P 14353; 151,60 m; L42/4); G) *Potonieisporites lelei* Maheshwari, 1967 (MP-P 14352; 149,40m; J42); H) *Striatopodocarpites phaleratus* (Balme & Hennelly 1955) Hart, 1964 (MP-P 14353; 151,60 m; E43/1); I) *Leiosphaeridia* Eisenack 1958 *emends*. Downie & Sarjeant, 1963; Tuner, 1984 (MP-P 14352; 149,40 m; M43). MP-P: Palinoteca do Museu de Paleontologia do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do IG/UFRGS (escala = 20 μm).



**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**




## 4 Considerações finais

O primeiro estudo de cunho bioestratigráfico realizado em uma bacia terrestre brasileira foi proposto para a Bacia do Parnaíba, referente a um relatório interno indisponível para o público em geral. Somente nas últimas décadas, os estudos palinológicos inauguraram uma nova fase de análise palinoestratigráfica para a bacia, com informações cada vez mais precisas sobre a proveniência da amostragem, com descrições, listagens e ilustrações dos táxons reconhecidos. Estes trabalhos utilizaram como base de correlação o zoneamento já conhecido para a Bacia do Amazonas. Os níveis estudados na Bacia do Parnaíba são relativos à idade 315,2 - 307,0 milhões de anos (Pennsilvaniano), para a Formação Piauí, e 290,1 - 266,9 milhões de anos (Cisuraliano médio ao Lopingiano), para a Formação Pedra de Fogo. Contudo, esses resultados não devem ser estendidos a toda a seção conhecida destas unidades, que podem ter limites basais e superiores distintos destas idades.

Os estudos em andamento visam aumentar a acurácia no posicionamento cronoestratigráficos das formações Piauí e Pedra de Fogo, foco principal deste projeto, utilizando-se de uma amostragem robusta e de ampla cobertura bacinal.



**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

**Referências bibliográficas**

BALARINO, Maria Lucia. **Permian palynostratigraphy of the Claromecó Basin, Argentina**. Alcheringa, 38(3): 317–337. 2014.

BETELLA, Camila M. **Palinologia da Formação Piauí (Pennsilvaniano), Grupo Balsas, Borda Leste da Bacia do Parnaíba: Palinoestratigrafia e Paleoambientes**. 53p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2019.

BALME, Basil. **Fossil in situ spores and pollen grains: an annotated catalogue**. Review of Palaeobotany and Palynology, 87: 81–323. 1995.

BHARADWAJ, D. C.; KAR, Ram Krushna & NAVALE, G. K. B. **Palynostratigraphy of the Lower Gondwana deposits in Paraná and Maranhão basins, Brazil**. Biological Memoirs Paleopalynology, Series 3, 1(1-2): 53-108. 1976.

COHEN, Kim Mikkel; FINNEY, Stan C.; GIBBARD, Philip Leonard & FAN, Junxuan. **The ICS International chronostratigraphic Chart** (2013; atualizada). Episodes, 36: 199-204. 2021.

CRUZ, Waldemir Barbosa da; ABORRAGE, Antônio Michel & SANTOS, Maria Eugenia Marchesini. **Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba**. Recife, DNPM/CPRM, 3: 1-26 (Relatório Interno). 1973.

DAEMON, Roberto Ferreira & CONTREIRAS, C. J. A. **Zoneamento Palinológico da Bacia do Amazonas**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, 1971, São Paulo. Anais. São Paulo, SBG, v. 1, p. 79–88. 1971.

DAEMON, Roberto Ferreira & QUADROS, Luiz Padilha. **Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná**, In: Congresso Brasileiro de Geologia, 24, 1970, Brasília. Anais. Brasília, SBG, v. 1, p. 359–412. 1970.

DINO, Rodolfo & PLAYFORD, Geoffrey. **Stratigraphic and palaeoenvironmental significance of a Pennsylvanian (Upper Carboniferous) palynoflora from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, northeastern Brazil**. Paleontological Research, 6(1): 23- 40. 2002.

DINO, Rodolfo; ANTONIOLI, Luzia & BRAZ, Stella Maria N. **Palynological data from the Trisidela Member of Upper Pedra de Fogo Formation ("Upper Permian") of the Parnaíba Basin, northeastern Brazil**. Revista Brasileira de Paleontologia 3: 24-35. 2002.

GUTIÉRREZ, Pedro Raul; ZAVATTIERI, Ana M.; EZPELETA, Miguel & ASTINI, Ricardo. **Palynology of the La Veteada Formation (Permian) in the Sierra de Narváez, Catamarca Province, Argentina**. Ameghiniana, 48 (2), 154-176. 2011.

IANNUZZI, Roberto & VIEIRA, Carlos Eduardo Lucas. **Paleobotânica**. Porto Alegre, Editora UFRGS, 167p. 2005.



**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

JARDINÉ, S. **Microflores des formations du Gabon attribuées au Karroo**. Review of Palaeobotany and Palynology, 17: 1-2. 1974.

LEITE, Jairo Fonseca; ABORRAGE, Antônio Michel & DAEMON, Roberto Ferreira. **Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba**. Recife, DNPM/CPRM, 5 v. (Relatório Interno, inédito). 1975.

MELO, José Henrique Gonçalves de; LOBOZIAK, Stanislas & STREEL, Maurice. **Latest Devonian to early Late Carboniferous biostratigraphy of Northern Brazil: an update**. Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration Production, 22(1):13-33. 1998.

MÜLLER, Helmut. **Report on palynological results of samples examined from wells in Maranhão**. PETROBRAS, 59p. (Relatório Interno). 1962.

MURPHY, Michael A. & SALVADOR, Amos. **International Stratigraphic Guide - An abridged version**. Episodes, 22, 255-271. 1999.

OLIVEIRA, Edvaldo José. **Palinologia do Grupo Balsas, Pennsilvaniano-Permiano da Bacia do Parnaíba**. 55p. Monografia de Qualificação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2020.

PÉREZ LOINAZE, Valéria S.; CÉSARI, Silvia N.; LÓPEZ GAMUNDÍ, Oscar & BUATOIS, Luis. **Palynology of the Permian San Miguel Formation (Western Paraná Basin, Paraguay): Gondwanan bioestratigraphic correlations**. Geologica Acta, 8: 483-493. 2010.

PETRI, Setembrino; COIMBRA, Armando Márcio; AMARAL, Gilberto & PONÇANO, Waldir Lopes. **Guia de Nomenclatura Estratigráfica**. Revista Brasileira de Geociências, 16: 376–415. 1986.

PLAYFORD, Geoffrey & DINO, Rodolfo. **Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part one**. Palaeontographica Abteilung B, 255:1-46. 2000a.

PLAYFORD, Geoffrey & DINO, Rodolfo. **Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part two**. Palaeontographica Abteilung B, 255:87-145. 2000b.

POTONIÉ, Robert. **Versuch der Einordnung der fossilen Sporae dispersae in das phylogenetische System der Pftanzenfamilien**. Forschungsber. Landes Nordrhein-Westfalen, 1761: 1-310. 1967

QUADROS, Luiz Padilha & MELO, José Henrique Gonçalves de. **Método prático de preparação palinológica em sedimentos pré-mesozóicos**. Boletim de Geociências da Petrobrás, 1(2): 205–214. 1987.

QUADROS, Luiz Padilha. **Memórias pessoais de Frederico Waldermar Lange**. In: BOSETTI, E. P.; GRAHN, Y. & Melo, J. H. G. Ensaios em Homenagem a Frederico Waldemar Lange. 1ª ed. Rio de Janeiro: *Interciência*, p. 22-25. 2011.

ROCHA, Haline de Vasconcellos; MENDES, Márcia; PEREIRA, Zélia; RODRIGUES, Cristina; FERNANDES, Paulo; LOPES, Gilda; SANT'ANNA, Lucy Gomes; TASSINARI, Colombo Celso Gaeta & LEMOS DE SOUSA, Manuel João. **New palynostratigraphic data of the Irati (Assistência Member) and the Corumbataí formations, Paraná Basin, Brazil, and correlation with other south American basins**. Journal of South American Earth Sciences, 102:102631. 2020. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102631.

SEYVE, Christian. **Introdução a Micropaleontologia**. Universidade A. Neto - Elf Aquitaine, 231 pp., Angola. 1990

SOUZA, Paulo Alves de. **Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil**. Review of Paleobotany and Palynology, 138: 9-29. 2006.

SOUZA, Paulo Alves de; MATZEMBACHER, Lucas Thetinski; ABELHA, Marina & BORGHI, Leonardo. **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, 13: 57–66. 2010.

TAPPAN, Helen. **The Paleobiology of Plant Protists**. W.H. Freeman and Company, San Francisco, U.S.A. 1028 p. 1980.

TRAVERSE, Alfred. **Paleopalynology**. Dordrecht: Springer, U.S.A. 813p. 2007.

TYSON, Richard. **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.



**Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 242 – 256, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-16**

[1] Os autores agradecem às instituições convenentes do Projeto BIOCRONORTE, quais sejam: PETROBRAS (Processo Sigitec 2018/00541-5), FAURGS (Processo 8391-3), UFPA, UFPE, UFRGS (Interação Acadêmica 000803), USP, ANP (21561-6); e a Academia de Ciências do Piauí - ACIPI. PAS (Processo 313340/2018-8) é bolsista do CNPq.