REVISTA DA ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO PIAUÍ

EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO PARNAÍBA: DECIFRANDO A VIDA ANTIGAE O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

Biocronorte expedition to the Parnaíba Basin: Deciphering the ancient life and the historical record of planet Earth

Paulo A. Souza[1*], Ana Karina Scomazzon[2], Afonso César Rodrigues Nogueira[3], Ana Maria Goes[4], Argel de Assis Nunes Sodré[5], Cristina Moreira Félix[6], Daiana R. Boardman[7], Edvaldo José Oliveira[8], Gelson Luís Fambrini[9], Juliana Charão Marques[10], Luiz Saturnino de Andrade[11], Márcia Emília Longhim[12], Renato Sol Paiva de Medeiros[13] & Sara Nascimento[14]

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; paulo.alves.souza@ufrgs.br; ORCID: 0000-0001-9844-1530

[2]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; akscomazzon@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2189-2664

[3]Universidade Federal do Pará; anogueira@ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5225-9255
[4]Universidade de São Paulo; amgoes@usp.br; ORCID: 0000-0001-8575-1935
[5]Universidade Federal do Pará; argel.sodre@ig.ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5190-9623
[6]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; cmfelix@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6865-7437

[7]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; daiana.boardman@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3140-9979
[8]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; contato.edvaldo@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3730-8511
[9]Universidade Federal de Pernambuco; gelson.fambrini@ufpe.br; ORCID: 0000-0001-9663-2229 [10]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; juliana.marques@ufrgs.br; ORCID: 0000-0003-0143-6925
[11]Universidade Federal do Pará; geoandrade.sl@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7168-8787 [12]PETROBRAS; melonghim@petrobras.com.br; ORCID: 0000-0003-2992-5667
[13]Universidade Federal do Pará; renato.solgeo@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1202-0143
[14]Universidade Federal do Rio Grande do Sul; sara.nascimento@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2396-

RESUMO: A Bacia do Parnaíba documenta sucessões de rochas sedimentares e ocorrências de fósseis que permitem reconstituir os ecossistemas do passado, ampliando o conhecimento sobre sua evolução geológica e potencialidade em termos de exploração de recursos minerais. Neste artigo são apresentadas as principais motivações, etapas e resultados da Expedição BIOCRONORTE à Bacia do Parnaíba, realizada em outubro de 2021, a qual é vinculada a um projeto interinstitucional envolvendo o setor produtivo e universidades públicas do país e do exterior. Afloramentos de determinadas unidades litoestratigráficas da bacia, de idades diversas (entre aproximadamente 346 e 145 milhões de anos atrás), foram visitados nos arredores de José de Freitas e Floriano (Piauí), e Balsas e Riachão (Maranhão). Os métodos empregados incluem análises sobre sedimentologia e estratigrafia, construção de perfis estratigráficos, amostragem para análise de microfósseis (palinomorfos, conodontes e foraminíferos), da proveniência sedimentar e para datação absoluta por Re-Os. Dados preliminares sugerem mudanças nas concepções das idades de algumas unidades estratigráficas, bem como sobre o modelo de evolução geológica da região. Além de apoiar trabalhos acadêmicos, os relatórios e as publicações advindas ampliam o banco de dados geocientífico da bacia, com aplicação no setor produtivo para fins de exploração derecursos minerais e energéticos.

Palavras-chave: Bacia do Parnaíba. Estratigrafia. Geocronologia. Micropaleontologia.

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 177 – 196 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO PARNAÍBA: DECIFRANDO A VIDA ANTIGAE O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

ABSTRACT: The Parnaíba Basin documents successions of sedimentary rocks and fossil occurrences that allow us to reconstitute past ecosystems, expanding the knowledge about its geological evolution and potential in terms of exploration of mineral resources. This paper presents the main motivations, stages and results of the BIOCRONORTE Expedition, carried out in October 2021, which is linked to an inter-institutional project involving the productive sector and public universities in the country and abroad. Outcrops of certain lithostratigraphic units in the basin, of different ages (between approximately 346 and 145 million years ago), were visited in the vicinity of José de Freitas and Floriano, in Piauí, and Balsas and Riachão, in Maranhão. The methods used include analyzes of sedimentology and stratigraphy, construction of stratigraphic profiles, sampling for analysis of microfossils (palynomorphs, conodonts and foraminifera), of sedimentary provenance and absolute dating by Re-Os. Preliminary data suggest changes in the age conceptions of some stratigraphic units, as well as in the geological evolution model of the region. In addition to supportingacademic work, the resulting reports and publications expand the basin's geoscientific database, with application in the productive sector for the purpose of exploring mineral and energy resources.

Keywords: Geochronology. Micropaleontology. Parnaíba Basin. Stratigraphy.

1 Introdução

A Bacia Sedimentar do Parnaíba é uma bacia intracratônica composta por rochas sedimentares e magmáticas que recobrem em superfície os estados do Piauí e do Maranhão, incluindo ainda porções da Bahia, Ceará, Tocantins e Pará, perfazendo um total de 665.000 km^2, dos quais 75% da área encontra-se no Estadodo Piauí. O relevo de serras e planícies abriga diferentes ecossistemas configurando uma paisagem exuberante para a prática de geoturismo, importante para a agropecuária e com alvos na fronteira da exploração mineral, principalmente exploração de gás e água subterrânea. A exploração de petróleo e gás porcompanhias como a PETROBRÁS em subsuperfície é uma forte motivação para oinvestimento econômico do Estado do Piauí.

As rochas da Bacia do Parnaíba foram formadas ao longo dos períodos das eras Paleozoica e Mesozoica, aproximadamente entre 500 e 66 milhões de anos atrás, quando os continentes apresentavam configurações paleogeográficas distintas das atuais. Naqueles tempos, o continente sulamericano fazia parte do Supercontinente Gondwana (Figura 1). Desde a sua formação, a Bacia do Parnaíba passou por distintos contextos paleoclimáticos e paleogeográficos, registrados em depósitos sedimentares atribuídos aos ambientes fluviais, desérticos, lacustres, glaciais e marinhos. Estes depósitos foram truncados por

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

extensos pulsos magmáticos responsáveis pela extrusão de basalto, cujos fluídos foram responsáveis pela geração das opalas de Pedro II, norte do Estado do Piauí, considerada de alto padrão gemológico. O basalto também é amplamente utilizado como brita para as excelentes estradas que contribuem para a mobilidade da população e transportes dos bens minerais e agronegócio. Para usufruir destes bens minerais e construir toda essa infraestrutura necessária para o desenvolvimento do Piauí e dos demais estados envolvidos, é necessário antes fazer uma leitura dos mais variados processos geológicos. Isto é feito reunindo informações geocientíficas a partir de estudos minuciosos das camadas sedimentares e do seu conteúdo fossilífero, referente aos antigos organismos coletados por expedições geológicas na Bacia do Parnaíba.

Figura 1 – Mapa paleogeográfico aproximado para o hemisfério sul do planeta durante os períodos Carbonífero e Permiano, com destaque aos atuais continentes que fizeram parte do Supercontinente Gondwana e localização da Bacia do Parnaíba (modificado a partir de Blakey, 2008).

Expedições à Bacia do Parnaíba tem iniciado principalmente com cunho geológico e

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

paleontológico desde o final do século XIX, renovando o conhecimentoda região principalmente em cooperação entre universidades e o setor privado. O exemplo mais recente desta conjunção é o projeto "BIOCRONORTE – Biocronoestratigrafia das bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões" que constituiu 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, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com execução entre 2019 e 2023.Seu objetivo principal é ampliar o conhecimento paleontológico e geológico das referidas bacias, a fim de obter a idade das camadas, por meio de fósseis e datações radiométricas, reconstituindo os cenários paleoambientais no tempo e no espaço. A equipe executora é composta por pesquisadores da UFRGS e colaboradores da Universidade Federal do Pará (UFPA), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Universidade de São Paulo (USP), incluindo discentesde graduação e de pós-graduação. A Bacia do Parnaíba foi selecionada como alvo da primeira expedição de campo do projeto, realizada em outubro de 2021 por uma equipe de 11 pesquisadores. Neste artigo pretende-se apresentar: (i) as etapas dedesenvolvimento da expedição; (ii) a descrição sucinta e a importância dos métodos empregados; e, (iii) os resultados obtidos e seu papel no cumprimento dos objetivosdo projeto e na ampliação do conhecimento paleontológico e geológico da bacia. Para isso, diversas rodovias e estradas vicinais dos estados do Piauí e do Maranhão foram percorridas investigando afloramentos de rocha e fósseis, na busca de decifrar a vida antiga e o registro histórico do planeta Terra.

2 Materiais e metódos

O planejamento da expedição se deu entre os meses de julho e setembro de2021, com análises criteriosas considerando: (i) as condições climáticas da área (temperatura, período de seca); (ii) a situação sanitária relacionada à pandemia COVID-19; (iii) a infraestrutura local e a logística de transporte e acomodação da equipe; e, (iv) a seleção de pontos para visitação contendo afloramentos, para descrição e amostragem com base no conhecimento prévio da equipe e nos objetivos gerais do projeto.

Os afloramentos selecionados para visitação na expedição estão localizados nos

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

arredores de José de Freitas e Floriano, no Piauí, e Balsas e Riachão, no Maranhão, nas proximidades e ao longo das principais rodoviais e estradas vicinais (Figura 2). Em termos estratigráficos, o intervalo selecionado para estudo corresponde às formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba (Grupo Balsas), com idades posicionadas desde o Pennsilvaniano ao Triássico (VAZ et al.,2007), sendo que a última formação supracitada não foi alcançada. Além disso, unidades sedimentares subjacentes (p. ex., formações Longá e Poti) e suprajacentes (p. ex., Formação Pastos Bons) foram também incluídas para melhor entendimento dos limites geológicos e do contexto da evolução paleogeográfica. A equipe foi dividida em três grupos, responsáveis pela visitação dos pontos ao redor das localidades mencionadas. Em cada um dos pontos selecionados para visitação, foram empregadas diversas metodologias, em razão dos objetivos do projeto, conforme descrição nos subitens que seguem. Maiores informações a respeito destes métodos são apresentadas particularmente em artigos específicos neste volume.

2. 1 *Levantamento estratigráfico*

O levantamento estratigráfico envolveu 300 m de rochas aflorantes desde a porção centro-leste e sudoeste da Bacia do Parnaíba até a região de José Freitas, a NW de Teresina, perfazendo cerca de 500 km de extensão. Os principais afloramentos são cortes de estradas, margens e leitos de drenagens intermitentes, encostas de morros e frentes de lavra de minas de calcário. Foi usado o método de modelamento de fácies proposto por WALKER (1992), que consiste em: 1) individualização e descrição de fácies sedimentares, identificando a mineralogia, textura e conteúdo paleontológico, bem como estruturas, geometria dos corpos e medidas de paleocorrente; 2) definição de fácies, que permite interpretar os processos deposicionais; 3) proposição de associações de fácies, que agrupa fácies contemporâneas e cogenéticas indicadoras dos ambientes sedimentares e sistemas deposicionais. Adicionalmente, ciclos deposicionais e superfícies estratigráficas foram definidas durante a confecção de perfis colunares e seções panorâmicas que serviram para posicionar amostras para análises micropaleontológica, de proveniência sedimentar e datação Re-Os.

2. 2 Coleta de amostras para estudo micropaleontológico

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

Achados de organismos fossilizados em rochas sedimentares são comumente veiculados na mídia, principalmente quando se trata de temas tradicionalmente instigantes, tais como os dinossauros, os ancestrais do homem e as causas das grandes extinções em massa. Cada registro paleontológico revela informações que são utilizadas por diversas áreas da ciência, trazendo novos dados sobre aevolução dos organismos através do tempo, sobre suas relações ecológicas, sobre os cenários paleoambientais, paleogeográficos e paleoclimáticos, e como forma dedatar, de forma relativa, as rochas onde ocorrem.

Além das publicações de cunho didático (p. ex., CARVALHO, 2011) e das mais especializadas (p. ex., revistas científicas), o acesso mais comum ao acervo paleontológico do planeta é por meio de visitação a museus e da cobertura midiática. Em todos os casos, os estudos são iniciados por expedições exaustivas realizadas por pesquisadores com formação apropriada para o sucesso de novos achados.

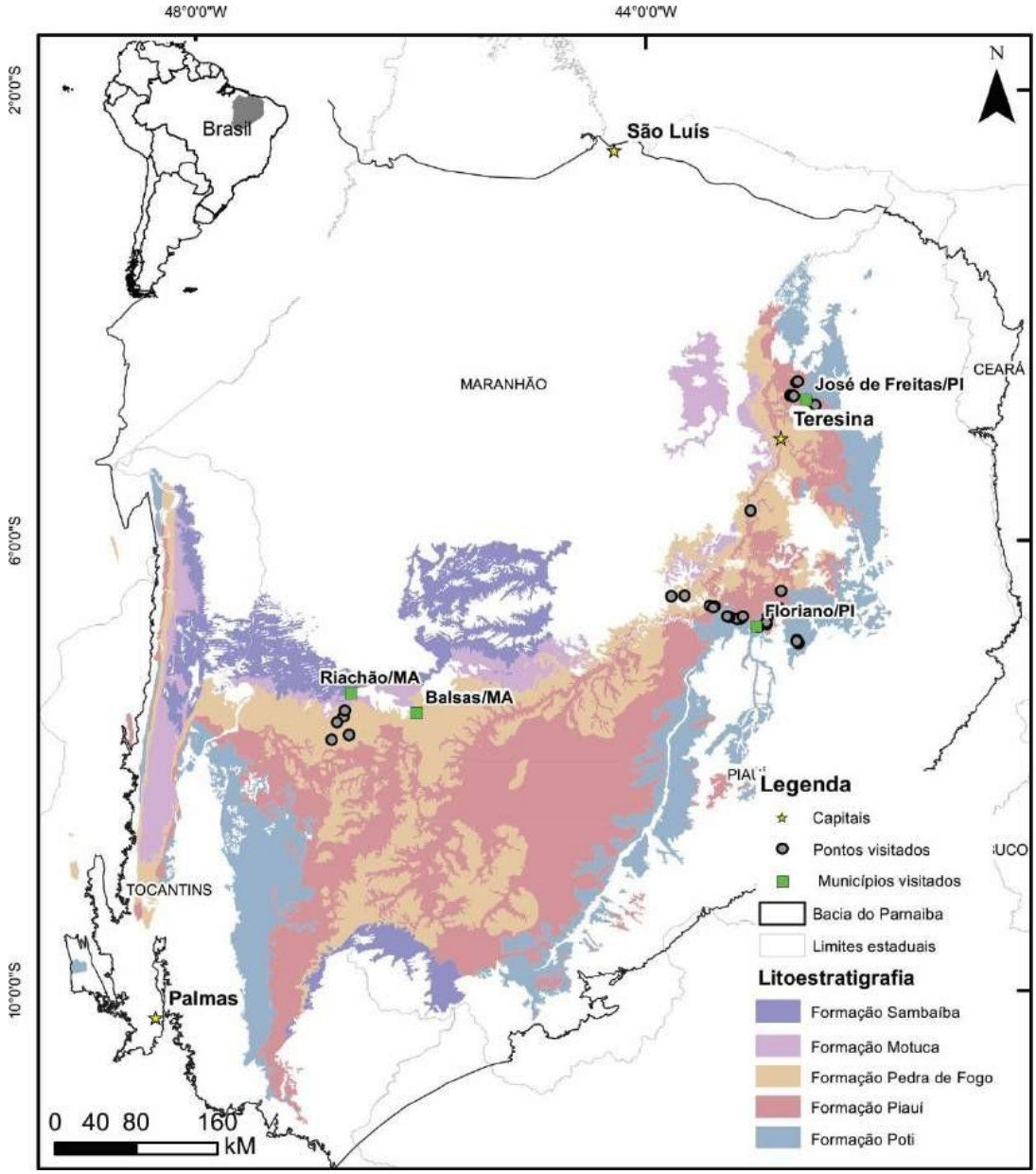
Na Bacia do Parnaíba, diversos tipos de fósseis já foram registrados, incluindo plantas, invertebrados e vertebrados, os quais são encontrados de forma visível nas rochas sedimentares (macrofósseis). Nesse contexto, um dos mais importantesregistros desta bacia é a "Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional", que constitui o mais exuberante e importante registro macroflorístico tropical-subtropical do período Permiano no Hemisfério Sul (DIAS-BRITO et al., 2009). Ocorrências similares desta floresta petrificada estão também expostas no centro urbano de Teresina, ainda em área-parque com perspectiva de ampliação e de aproveitamento para fins museológicos e de divulgação científica, com efeito no turismo local e regional.

Por outro lado, muitos organismos fósseis são extremamente pequenos, denominados "microfósseis", com dimensões geralmente menores que 1 mm, que podem estar contidos nas rochas sedimentares, mas não são visíveis a olho nú. Assim, as diversas amostras coletadas são enviadas para os laboratórios das instituições, com protocolos específicos para extração dos microfósseis e posterior análise em equipamentos especializados, tais como microscópios ópticos e lupas estereoscópicas (ARMSTRONG & BRASIER, 2005). Como são organismos diminutos, podem estar presentes em grandes quantidades em poucos gramas de uma amostra, resultando em

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

conjuntos numerosos e geralmente diversificados para cada ponto de coleta.

Figura 2 – Distribuição da Bacia do Parnaíba, com detalhamento das unidadeslitoestratigráficas carboníferas a triássicas aflorantes e dos pontos visitados (afloramentos) ao redor das cidades de José de Freitas e Floriano, no Piauí, eBalsas e Riachão, no Maranhão.



Durante a coleta, existem feições que indicam uma maior probabilidade de sucesso no achado de microfósseis. No caso dos esporos e grãos de pólen

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

(palinomorfos relacionados à reprodução das plantas), utiliza-se como critério inicial o tipo de rocha e sua coloração. De maneira geral, pelitos com coloração cinza média a mais escura são rochas mais promissoras para esses tipos de organismos fósseis. Rochas carbonáticas são mais promissoras em termos de ocorrência de organismos com testas de composição carbonática, tais como os foraminíferos (protistas marinhos bentônicos, com carapaças, em geral, carbonáticas).

Em cada ponto desta Expedição, foram coletadas amostras a fim de se registrar novos achados de microfósseis, especialmente de: (i) esporos e grãos de pólen; (ii) vesículas algálicas; (iii) elementos conodontes (vertebrados primitivos estudados na micropaleontologia, pois a parte que preserva são seus aparelhos alimentares fosfáticos, de tamanho milimétrico); e, (iv) foraminíferos. Estes grupos fornecem informações relevantes sobre as idades e os paleoambientes das camadas onde são encontrados, incluindo espécies utilizadas como guias da escala padrão do tempo geológico (p. ex., elementos conodontes), de alta resolução para datações relativas. Maiores informações sobre cada um destes microfósseis são apresentadas separadamente neste volume.

2. 3 Coleta de amostras para proveniência sedimentar

As rochas sedimentares detríticas são formadas a partir do acúmulo de sedimentos e suas características refletem os ambientes deposicionais. Estes sedimentos são constituídos por fragmentos de rochas provenientes de áreas fontes e o seu aporte é controlado pelo clima e ligado a processos tectônicos. Características tais como composição, granulometria e forma dos grãos detríticos são importantes para entender a origem do material e as modificações decorrentes do transporte. Compreender e quantificar os processos do ciclo de erosão, transporte e deposição fazem parte desta grande área de estudo chamada proveniência sedimentar (MAZUNDER, 2017). A forma de trabalhar com proveniência é bastante ampla e depende do foco da pesquisa. Estudos granulométricos e de minerais pesados são bastante populares (MAZUNDER, 2017). Dependendo do tipo de material identificado, é possível revelar, por exemplo, o tipo e grau de exposição da fonte. Outra ferramenta muito usada tem sido idades U-Pb obtidas em zircão detrítico (e.g. GEHRELS, 2014). O zircão é um mineral comum em diversas rochas e apresenta significativa resistência

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

química efísica aos processos superficiais, sendo pouco afetados no transporte. É o principal mineral analisado para o sistema U-Pb, um dos mais robustos métodos de dataçãogeocronológica. As idades de zircões detríticos revelam as idades das rochas fontes, o que auxilia no entendimento dos eventos e nas reconstruções paleogeográficas. Ainda, é possível obter a idade máxima de deposição, dado muito importante nos estudos que visam refinar a cronologia. No projeto BIOCRONORTE, as amostragens para estudos de proveniência contemplaram intervalos de rochas areníticas de ambientes e posições estratigráficas distintas, com intuito de compreender tanto os processos sedimentológicos mais específicos quanto a evolução da Bacia do Parnaíba no tempo.

2.4 Coleta de amostras para o método de datação Re-Os

Sucessões sedimentares detríticas são muito difíceis de serem datadas de forma absoluta e o método Re-Os tem representado um avanço excepcional nestaárea. Os elementos Rêmio (Re) e Ósmio (Os) são derivados da água do mar e se concentram em sedimentos anóxicos (baixo conteúdo de oxigênio) na interface água-sedimento. Estes elementos se ligam à matéria orgânica e, após a deposição desta, o sistema Re-Os se comporta de forma fechada no qual o isótopo ^{187}Re radioativo decai para o ^{187}Os radiogênico. A componente detrítica de Re e Os deveser insignificante. Estas premissas formam a base do geocronômetro que determina a idade de deposição. Várias alíquotas são analisadas para possibilitar a construção de um diagrama isocrônico e obtenção da idade. Para que a datação seja exitosa, são requeridas condições muito específicas. As amostras devem ser selecionadas e coletadas de forma criteriosa de um intervalo rico em matéria orgânica, formado em lâmina de água anóxica com pouca perturbação e contribuição detrítica. A rocha deve estar sem alteração intempérica. Amostra-se um intervalo horizontal único com coleta de várias alíquotas, espaçadas em dezenas de centímetros, ou se coleta um intervalo vertical restrito. Após, as alíquotas são cominuídas (< 30μm) sem contaminação com metais, são pesadas e traçadores isotópicos são adicionados. O Re e Os ocorrem em muito baixa quantidade, na ordem de parte por bilhão (ppb) e o Os, quando oxidado, é

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

volátil, o que torna o preparo químico e o método analítico desafiador. A dissolução da amostra ocorre em um recipiente vítreo selado e aquecido, técnica denominada de *Carius Tube Digestion*. Após, as amostras passam por diversos procedimentos químicos para separação e isolamento do Re e Os. Depois da separação, os elementos são analisados por espectrômetria de massa. A metodologia Re-Os é considerada desafiadora e trabalhosa. A base conceitual foi desenvolvida por vários autores, e desde os trabalhos de CREASER et al. (2002), o método para folhelhos se tornou mais popular. Outra aplicação do método trata-se da obtenção de informações sobre a composição da água do mar quando da época de deposição. A razão inicial de Os é sensível às variações no oceano e pode ser usada como ferramenta de estimativa da antiga fonte de Os nos oceanos. Isto permite considerações quanto às variações de contribuição de material continental ou mesmo de impactos meteoríticos à água do mar. O potencial de utilização da razão inicial de Os é similar ao que já habitualmente se realiza através das razões iniciais de Sr. Revisões complementares sobre método e aplicações podem ser obtidas em REISBERG & MEISEL (2002) e MARQUES (2013). Para o Projeto BIOCRONORTE, foram amostrados alguns intervalos ricos em matéria orgânica, utilizando a técnica de amostragem horizontal com coleta de várias (6 a 8) alíquotas.

2.5 Integração dos dados

Ao final de cada dia de estudo, cada uma das três equipes realizou reuniões para organizar as informações levantadas, aprofundar as discussões sobre as feições observadas, aprimorar os perfis estratigráficos elaborados e reprogramar, quando necessário, o roteiro da expedição. Ao final, todas as equipes discutiram as informações de maneira conjunta, com a montagem de planilhas sobre as amostras coletadas, realização de seções estratigráficas integradas e de modelos preliminares sobre a evolução sedimentar e paleoambiental das áreas visitadas, em um contexto local, regional e dentro do cenário paleogeográfico do supercontinente Gondwana (Figura 1).

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

3 Resultados

Durante a expedição, 41 afloramentos (BS 1-41) foram visitados, distribuídos nos arredores de José de Freitas (12), Floriano (23) e Balsas/Riachão (6), denominados como "pontos" na figura 2. Para todos os pontos, foram realizados perfis estratigráficos (ver item 2.1). A título de exemplo, é apresentado aqui o perfil estratigráfico integrado dos pontos BS-14 e BS-15 (Figura 3), que registram as formações Piauí e Pedra de Fogo, unidades litoestratigráficas expressivas em termos de distribuição e principais alvos da expedição.

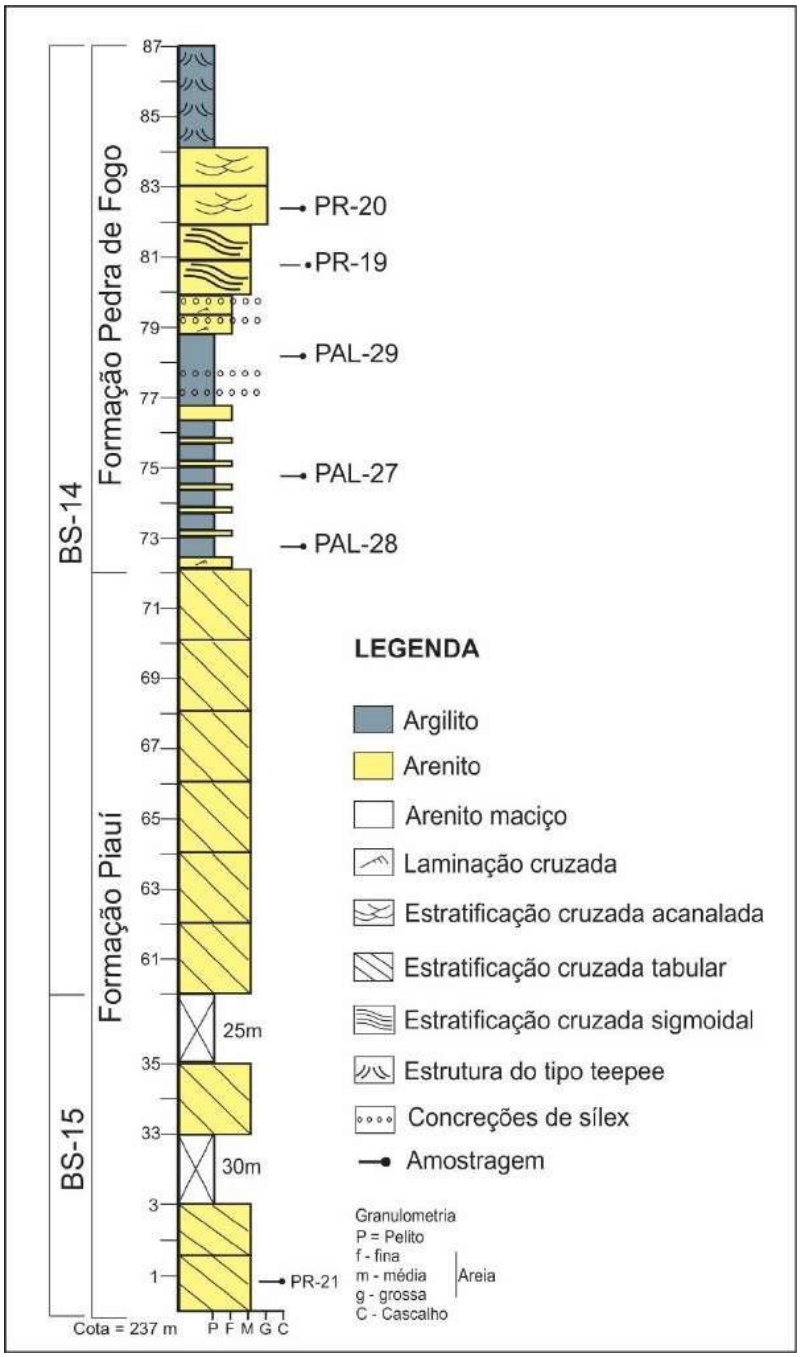
Todos os pontos visitados foram documentados fotograficamente, incluindo tomadas aéreas, em alguns pontos, obtidas por drone (Veículo Aéreo Não Tripulado). Imagens selecionadas das unidades Poti, Piauí e Pedra de Fogo são apresentadas nas figuras 4 a 7.

Embora diversos tipos de fósseis possam estar contidos nas amostras, o conteúdo micropaleontológico a ser estudado é relativo a palinomorfos (esporos, grãos de pólen, cistos algálicos), conodontes e foraminíferos, conforme apresentado no item 2.2 deste artigo. Imagens selecionadas destes microfósseis constituem a figura 8, oriundos de níveis estratigráficos das formações Piauí e Pedra de Fogo, algumas das quais inéditas.

Os elementos conodontes (Figuras 8A a D) e os foraminíferos (Figura 8H) são organismos que atestam a natureza marinha das camadas onde ocorrem. Tratam-se de microfósseis utilizados mundialmente para determinar as idades dos estratos marinhos, especialmente do Paleozoico superior (Devoniano a Permiano), com alto grau de resolução geocronológica. Os palinomorfos ilustrados são referentes a um esporo (Figura 8E) e dois grãos de pólen (Figuras 8F e G), derivados de plantas terrestres, também utilizados para fins de datação relativa, reconstituição paleoecológica, dos paleoambientes e paleoclima. Somente com um número considerável destes microfósseis, serão possíveis as determinações geocronológicas (idades) e as reconstituições dos parâmetros físico-químicos dos ecossistemas associados, justificando a extensiva coleta de amostras realizada na Expedição BIOCRONORTE.

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

Figura 3 – Perfil estratigráfico composto dos pontos BS-14 e BS-15, mostrando o contato entre as formações Piauí (base) e Pedra de Fogo (topo), nas proximidades de Lajes, Maranhão, com informações sobre tipos de rochas, estruturas sedimentares e amostragem (PR: amostras para proveniência sedimentar; PAL: amostras para palinomorfos).



Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

Figura 4 – Afloramentos visitados da Formação Poti (Mississipiano). A) Ponto BS-02 (Riacho dos Porcos), proximidades de Amarante, Piauí; B) Ponto BS-09, nas proximidades de Barão de Grajaú, Maranhão.

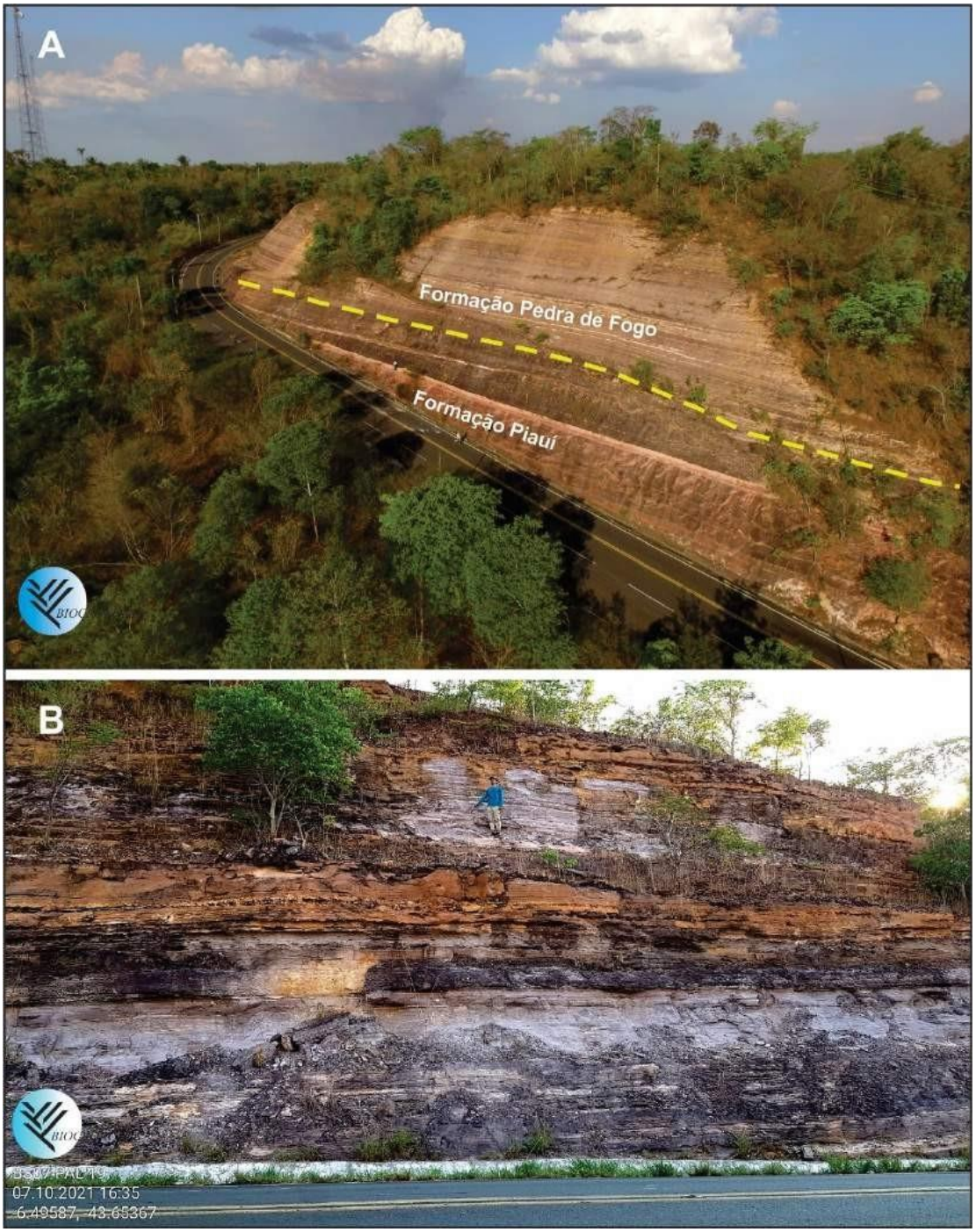
Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

Figura 5 – Afloramentos visitados da Formação Piauí (Pennsilvaniano).

A) Ponto BS-01, nas proximidades de Floriano, Piauí; B) Ponto MO-16 (Mineradora Icaraí), nas proximidades de José de Freitas, Piauí.

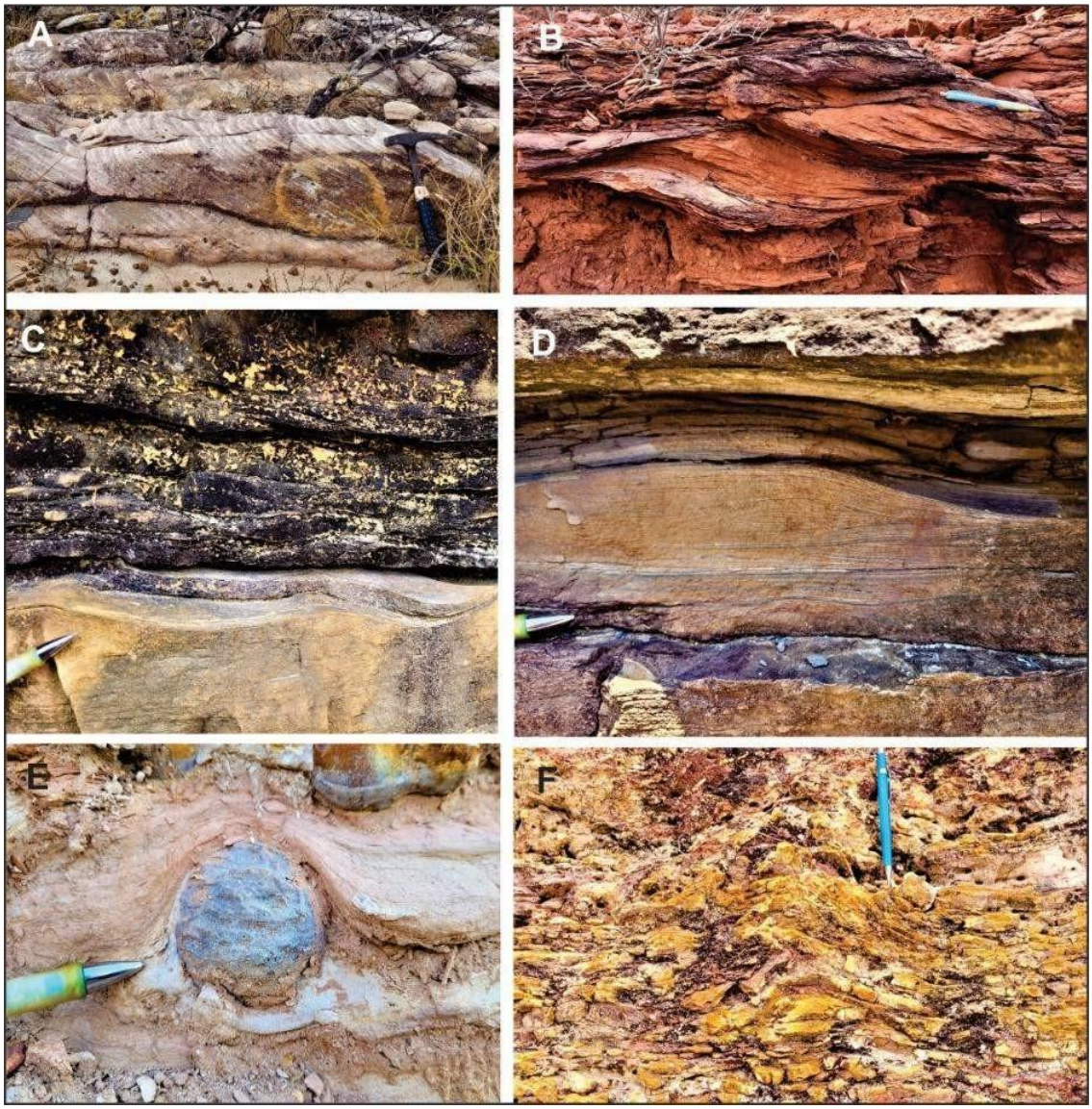
Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

Figura 6 – Afloramentos visitados da Formação Piauí (Pennsilvaniano) e Pedra de Fogo (Cisuraliano). A) Ponto BS-23, contato entre as formações Piauí (base) e Pedra de Fogo (topo), no município de Palmeirais, Piauí; B) Ponto BS-07, Formação Pedra de Fogo, proximidades de São João dos Patos, Maranhão.



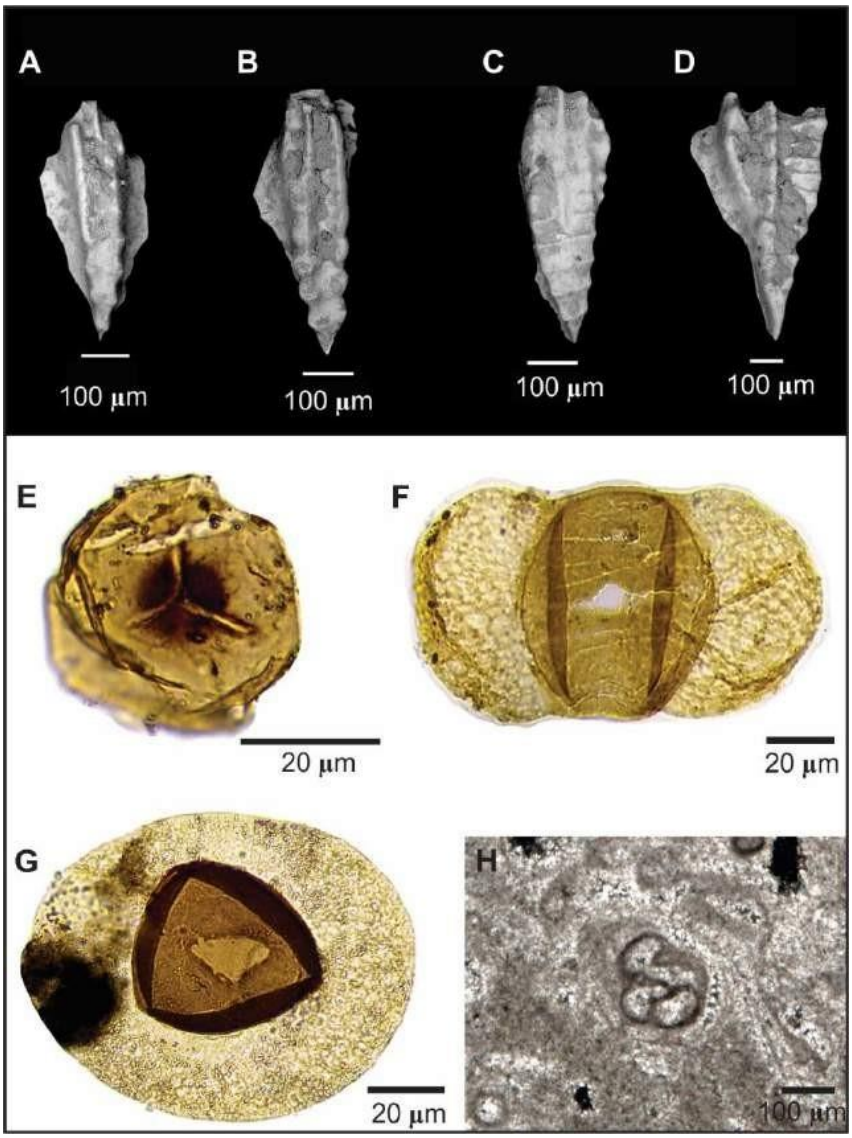
Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

Figura 7 – Estruturas sedimentares da sucessão estudada. A) e B) Arenito cinza com estratificação cruzada acanalada de médio porte; B) Arenito cinza com megalaminação cruzada cavalgante; C) Arenito com estratificação cruzada de baixo-ângulo em contato com arenito exibindo acamamento ondulado; D) Arenito cinza-amarelado com estratificação cruzada *hummocky*; E) Concreção silicificada; F) Estruturas *tepee* em sílex laminado. As figuras de A-D são da Formação Poti e as E e F pertencem a Formação Pedra de Fogo.



Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

Figura 8 – Microfósseis ocorrentes na Formação Piauí, Bacia do Parnaíba.A a D) Elementos conodontes coletados na Mineradora Icaraí (Ponto MO- 09), conforme MEDEIROS (2020): A e B, *Declinognathodus noduliferus* Ellison & Graves, 1941; C, ***Idiognathodus incurvus*** Dunn, 1966; D, ***Neognathodus medexultimus*** Merrill, 1972***;* E a F) Palinomorfos ocorrentesno Poço 1-UN-09-PI (inéditos): A, *Calamospora brevirradiata* Kosanke,1950; B, *Potonieisporites triangulatus* Tiwari, 1965; C) *Protohaploxypinus amplus* (Balme & Hennelly) Hart, 1964; H) Seção de uma lâmina petrográfica do calcário da Fazenda Mocambo (Ponto MO-01), com a presença de pequeno foraminífero (MEDEIROS, 2020).**



Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

4 Considerações finais

A realização da Expedição BIOCRONORTE à Bacia do Parnaíba renova o interesse geológico e paleontológico em sua área de ocorrência, seja para atendimento aos objetivos do projeto como também para ampliar e atualizar o conhecimento geológico desta porção do território brasileiro. A expedição apoia estudantes e pesquisadores no desenvolvimento de trabalhos de graduação (iniciação científica, conclusão de curso), pós-graduação (dissertações de mestrado, teses de doutoramento, pós-doutoramentos), otimizando os recursos públicos destinados pela universidade e empresa parceira, a PETROBRAS.

O projeto vem ampliar o conhecimento bioestratigráfico da Bacia do Parnaíba, ainda carente na definição precisa das idades dos intervalos estratigráficos que já possuem um razoável entendimento paleoambiental. O estudo desenvolvido neste projeto é concentrado no intervalo Carbonífero e Permiano da bacia, embora unidades mais recentes foram também investigadas. As próximas etapas de trabalho envolvem o detalhamento dos perfis estratigráficos, a recuperação e o estudo dos microfósseis contidos nas amostras, seleção e análise sobre a proveniência sedimentar e obtenção de idades relativas (bioestratigrafia) e absolutas (método Re-Os).

Como resultado desta iniciativa, é previsto considerável aumento do banco de dados sobre a paleontologia e a estratigrafia da Bacia do Parnaíba, contribuindo para o incremento do conhecimento da porção noroeste do antigo supercontinente Gondwana. Vale ressaltar que nesta porção é observada expressiva escassez de informações quando comparada a outras bacias do país e do exterior. O aproveitamento dos dados pelo setor produtivo, tais como empresas de exploração de recursos minerais e energéticos, certamente contribuirá para o desenvolvimento de potenciais atividades econômicas na região.

Apesar da Bacia do Parnaíba ser frequentemente visitada por diversos pesquisadores, as populações locais não são adequadamente conscientizadas da importância do patrimônio geológico e paleontológico da região. Propõe-se buscar formas de divulgação científica nas instituições públicas e privadas que promovam ações educativas, incluindo montagem de museus locais para armazenamento de acervos gerados por expedições como a do projeto BIOCRONORTE. Considera-seimportante

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

que a divulgação destas pesquisas seja feita não só para os municípios abrangidos, como para os demais estados adjacentes ao Piauí, enfatizando a apropriação social do patrimônio geológico e paleontológico, culminando no aprimoramento do nível cultural e educacional da população brasileira. O projeto BIOCRONORTE propicia a interação de diferentes profissionais das Geociências, fomentando uma política de troca de experiências para mitigar o efeito da falta de informação geológica para as comunidades do interior do Brasil.

Referências bibliográficas

ARMSTRONG, Howard & BRASIER, Martin. Microfossils. 2ª. Ed., Blackwell Publishing, 296p, 2005.

BLAKEY, Ronald C., **Gondwana paleogeography from assembly to breakup— A 500 m.y. Odyssey.** Special Paper 441: Resolving the Late Paleozoic Ice Age in Time and Space (pp.1-28), 2008.

CARVALHO, Ismar de Souza. **Paleontologia.** Editoria Interciência, Rio de Janeiro, 3ª. Edição, v. 1, v. 2, v. 3.

CREASER, Robert A.; SANNIGRAHI, Poulomi; CHACKO, Thomas. e SELBY, David. **Further evaluation of the Re–Os geochronometer in organic-rich sedimentary rocks: a test of hydrocarbon maturation effects in the Exshaw Formation Western Canada Sedimentary Basin**. Geochimica et Cosmochimica Acta, 66. 19: 3441-3452, 2002.

DIAS-BRITO, Dias; ROHN, Rosemarie; CASTRO, Joel Carneiro de; DIAS, Ricardo Ribeiro; RÖSSLER, Ronny. Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional. O mais exuberante e importante registro florístico tropical-subtropical permiano no Hemisfério Sul. em: Winge, M. (Ed.) et al. 2009. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: CPRM, 2009. v. 2. 515 p. il. color.

GEHRELS, George. **Detrital zircon U-Pb geochronology applied to tectonics.** Annual Review of Earth and Planetary Science Letters 42: 127-149, 2014.

MARQUES, Juliana Charão. **Overview on the Re-Os isotopic method and its application on ore deposits and organic-rich rocks.** Geochimica Brasiliensis, 26. 1:49-66, 2013.

MAZUNDER, Rajat. **Sediment provenance: Influence on compositional change from source to sink**. Em: Mazumder, R. (Ed) 2017. Sediment provenance: Elsevier, 2017. pp. 1-4.

MEDEIROS, Renato Sol Paiva de. O Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba, Norte do Brasil: Implicações Paleoambientais, Paleogeográficas e Evolutivas para o Gondwana Ocidental. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém, p.151. 2020.

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p. 168 – 187 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-12

REISBERG, Laurie e MEISEL, Thomas. **The Re-Os isotopic system: A review of analytical techniques.** Geostandards Newsletter, 26. 3:249-267, 2002.

WALKER, Roger G. **Facies, facies models and modern stratigraphic concepts**. Em: Walker R. G. & James N. P. (eds.). *Facies models* – response to sea level change. Geological Association of Canada, Ontario, p. 1–14, 1992.

Agradecimentos. Os autores agradecem às instituições convenentes do projeto BIOCRONORTE: PETROBRAS (Processo Sigitec 2018/00541-5), FAURGS (8391-3), UFPA, UFPE, UFRGS (Interação Acadêmica 000803), USP, ANP (21561-6); aos pesquisadores da Universidade Federal do Piauí (campus Teresina e Floriano) que apoiaram a expedição. PAS (313340/2018-8), ACRN (307484/2018-0) e JCM (309519/2018-7) são bolsistas do CNPq.