

CONTEXTO LITOSTRATIGRÁFICO E CONSIDERAÇÕES SOBRE A FORMAÇÃO DO JAZIGO FOSSILÍFERO DO MUNICÍPIO DE CRUZEIRO DO OESTE-PR

Edison Fortes

Universidade Estadual de Maringá,
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, PR, Brasil
efortes@uem.br

Rosana Natieli de Lima

Universidade Estadual de Maringá,
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, PR, Brasil
pg54763@uem.br

Américo José Marques

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Geografia, Maringá, PR, Brasil
ajmarques@uem.br

Susana Volkmer

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Geografia, Maringá, PR, Brasil
svolkmer@uem.br

Daniela Cristina Roque

Universidade Estadual de Maringá,
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, PR, Brasil
dani_roque95@hotmail.com

Vitor Bassi Mazzone

Núcleo Estadual de Educação de São Paulo, SP, Brasil
vitorbassi@prof.educacao.sp.gov.br

RESUMO

Esse trabalho teve por objetivo a descrição estratigráfica do jazigo fossilífero e a interpretação das condições de deposição, bem como das relações litofaciológicas da sequência sedimentar da Formação Rio Paraná, com destaque para o sítio paleontológico do Município de Cruzeiro do Oeste, no Estado do Paraná. O afloramento estudado é representado por uma sequência rítmica de estratos centimétricos, composto predominantemente por areia fina, formando uma sequência de pelo menos três estratos, intercalados por níveis argilosos milimétricos com hematita, ricos em fósseis de pterossauros. A disposição caótica destes elementos, junto ao topo de cada estrato, indica para a interpretação de uma deposição em condições de transbordamento de águas, com escoamento superficial efêmero distal, e no qual denominamos de Litofácies de Planície de Transbordamento. Essa litofácia grada de forma transicional em direção ao topo para sequência arenosa fina, com estruturas sedimentares tênues, associadas a marcas de ondas na parte basal da camada. Essa sequência foi interpretada como Litofácies de Lençóis de Areia, depositadas inicialmente em condições de maior umidade do substrato e gradando para condições mais secas em direção ao topo.

Palavras-chave: Litofaciologia. Pterossauro. Fluxo sazonal. Sequência rítmica.

LITHOSTRATIGRAPHIC CONTEXT AND PRELIMINARY CONSIDERATION OF THE FORMATION OF THE FOSSILIFEROUS DEPOSITS IN THE MUNICIPALITY OF CRUZEIRO DO OESTE, STATE OF PARANÁ

ABSTRACT

The objective of the present study was the stratigraphic contextualization of the fossiliferous deposit and the interpretation of the deposition conditions, as well as the lithofaciological relationships of the sedimentary sequence of the Rio Paraná Formation, with emphasis on the paleontological site in Cruzeiro do Oeste, Paraná. From the results obtained, it was found that the outcrop is represented by a rhythmic sequence of centimetric strata, predominantly composed of fine sand, forming a sequence of at least three strata, interspersed by millimetric

clayey levels with hematite, rich in pterosaur fossils. The chaotic arrangement of these elements near the top of each stratum indicates a deposition under water overflow conditions, with distal ephemeral surface runoff, which we call Lithofacies of Floodplain. This lithofacies transitionally grades upwards to a fine sandy sequence with tenuous sedimentary structures associated with wave marks in the basal part of the layer. This sequence was interpreted as Lithofacies of Sand Sheetes, deposited initially in conditions of higher substrate humidity and grading to drier conditions towards the top.

Keywords: Lithofaciology. Pterosaur. Seasonal flow. Rhythmic sequence.

INTRODUÇÃO

O Grupo Caiuá está representado no estado do Paraná pelas formações: Rio Paraná, Goio-Êre e Santo Anastácio, conforme a classificação proposta por Fernandes (2004). A despeito de serem cronocorrelatas, os limites propostos pelo referido autor ainda é motivo de controvérsias, especialmente nos limites meridionais da Bacia Bauru. Portanto, o presente estudo visa discutir esses limites, e compreender as relações estruturais da Bacia Bauru na sua parte meridional, com a sedimentação associada.

Na região noroeste do Paraná, os estudos estratigráficos e paleontológicos vêm sendo desenvolvidos, em especial para interpretação dos paleoambientes de sedimentação associados a Bacia de Sedimentação Bauru (Maack, 1968; Sobreiro Neto, et al. 1981; Salamuni, et al. 1981; Ricomini et al. 1981; Fernandes, 1992; Fernandes e Coimbra, 2000; Paula e Silva, et al. 2003; Fernandes, 2004; Langer, et al. 2019; Fortes, et al. 2019).

A análise do arranjo arquitetônico das litofácies, só foi possível devido a abertura de estrada na cidade de Cruzeiro do Oeste. Contudo, a despeito desse afloramento estar distribuído ao longo de uma ombreira de vertente, a variabilidade de litofácies é pequena, bem como a falta de estruturas sedimentares que poderiam estabelecer uma melhor interpretação paleoambiental.

A descoberta do sítio paleontológico, localizado em Cruzeiro do Oeste, constitui o principal elemento que justifica a presente pesquisa, considerando que as formações geológicas da parte meridional da Bacia Bauru eram consideradas, até pouco tempo atrás afossilíferas, por se tratarem de depósitos sedimentares associados a paleoambientes desérticos.

A análise sedimentar correlativa das fácies fossilíferas do jazigo fossilífero, apresenta ainda controvérsias, sendo interpretada como resultado de condições paleogeográficas associadas a ambiente interduna úmida ou por ambiente de Wadi, em meio a zonas interdunas.

Os trabalhos de escavação da área realizados por equipes de pesquisadores do Museu Nacional da UFRJ, da Unipar e do Centro de Paleontologia (CENPALEO) da Universidade do Contestado, resultaram na descoberta de nova espécie de Pterossauro, denominado *Caiujara dobruskii* (MANZIG *et al.*, 2014).

A partir do estabelecimento do Termo de Cooperação Técnica entre a Prefeitura Municipal de Cruzeiro do Oeste e a UEM/GEMA, foram realizadas diversas ações no âmbito da consultoria e das pesquisas de caráter paleontológico, estratigráfico, sedimentológico e geoambiental da área.

Essas pesquisas impulsionaram a produção científica envolvendo os achados fósseis, no tocante às informações de cunho paleontológico e estratigráfico.

O grupo de pesquisadores da UEM, da USP de Ribeirão Preto e do município de Cruzeiro do Oeste publicou em 2019, a descoberta de uma nova espécie de Terópode, denominado *Verpersaurus Paranaensis* (LANGER *et al.*, 2019). A repercussão nacional e internacional deste achado despertou na municipalidade de Cruzeiro do Oeste a necessidade de divulgação desse importante patrimônio histórico e cultural. Isto se concretizou com a inauguração do Museu de Paleontologia do município em 19 de julho de 2019.

Ainda no ano de 2019 a Universidade do Contestado anunciou a descoberta de outra espécie de Pterossauro, associado ao sítio paleontológico de Cruzeiro do Oeste, denominado pela equipe da referida universidade de *Keresdrakon wilsoni* (KELLNER *et al.*, 2019).

Esse trabalho tem por objetivos contribuir para a compreensão das condições de deposição do material fossilífero, que constitui o jazigo fossilífero do Município de Cruzeiro do Oeste, bem como compreender as relações paleoambientais da borda meridional da Bacia Bauru.

METODOLOGIA

Para a concretização dos objetivos acima, procedeu-se à compilação de mapas geológicos da CPRM na escala 1:1.000.000 com uso do QGIS 3.2 e checagem em campo de mapas geológicos da borda sudeste da Bacia Bauru, na região Noroeste do Estado do Paraná. Foram, descritos afloramentos, utilizando os critérios usuais em estratigrafia e sedimentologia, bem como coleta de sedimentos para posterior análise de parâmetros granulométricos e morfométricos, feitos no Laboratório de Sedimentologia do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA/UEM).

Foram realizados em campo, levantamento topográfico ao longo da vertente, com o objetivo de determinação de posicionamento faciológico, bem como para correlação com outros afloramentos distribuídos regionalmente. Esses dados levantados permitiram a elaboração de perfil estratigráfico com a representação das litofácies e da distribuição das associações fossilíferas.

As associações faciológicas foram também estabelecidas a partir de análises texturais dos grãos de quartzo presentes. Esses parâmetros foram definidos na classificação textural de Shepard (1954) e parâmetros de Folk & Ward (1957). Para as análises morfoscópias, foi utilizado o método de Krumbein (1941) para determinação do arredondamento e de Rittenhouse (1943) para a esfericidade. Todas as análises foram realizadas junto ao Laboratório de Sedimentologia, do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA), da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

As análises mineralógicas de sedimentos, também foram feitas por Difractometria de raio-x (DRX), para a determinação mineralógica, em especial os argilo-minerais, em modo de varredura contínua, sendo os difratogramas, elaborados a partir do software *High Score Plus*. As análises de textura superficial e forma das frações sedimentares, bem como de sua constituição química, foram feitas por Microscopia Eletrônica de varredura (MEV) e por Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS). Essas análises foram realizadas somente para as amostras obtidas junto as fácies fossilíferas. As análises laboratoriais foram realizadas na Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP), ligada a Universidade Estadual de Maringá (UEM).

As interpretações paleoambientais e paleoecológicas foram realizadas a partir da associação dos elementos acima analisados com o conteúdo faunístico fossilizado, em termos de disposição dos restos esqueléticos e sua orientação, bem como de dados obtidos em outros estudos realizados.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Bacia de Sedimentação Bauru, compreende a uma importante depressão, cuja origem foi atribuída a processos termolitostáticos por Riccomini (1997) e Fernandes e Coimbra (2000), e localizada no centro-sul da Plataforma Sul-Americana.

A bacia abrange uma área de 370.000 km² (Figura 1 e 2), sendo formada por uma sequência arenosa de aproximadamente 300 m de espessura (Paula e Silva, *et al.* 2003). Essa sequência é representada por dois grupos, parcialmente crono-correlatos, definidas por Fernandes e Coimbra (1994) como Caiuá (formações Rio Paraná, Goio-Erê e Santo Inácio) e Bauru (formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, Uberaba, Marília, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Analcimitos Taiúva).

A sequência arenosa foi formada em clima semi-árido a árido, cujo início da deposição é atribuído por Bertinet *et al.* (1993), Santucci e Bertini (2006) e Milani *et al.* (2007) entre o Coniaciniano e Maastrichiano. Contudo, Basilici *et al.* (2012) situa essas camadas entre o Turoniano-Campaniano, e Batezelli (2015) defende idade Aptian-Albiano.

O substrato da Bacia Bauru compreende rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, em geral, constituídos de basaltos e cujo contato se dá por não conformidade e separada por brechas de clastos de basalto centimétricos, imersos em matriz areno-argilosas, formando níveis variando de 30 cm a 1,50 m de espessura.

A borda meridional da Bacia Bauru é coincidente com estruturas regionais representadas pelo Arco de Ponta Grossa e pelos alinhamentos do Rio Piquiri, este último associado a anomalias de drenagem, como a Sete Quedas, hoje inundada pelas águas do Lago de Itaipú. A despeito dos limites estruturais da borda meridional, essa linha de contato é bem recortada, como resultado da superimposição das

drenagens atuais nas coberturas arenosas, que acaba por expor o embasamento basáltico junto aos fundos de vales.

O prolongamento das coberturas arenosas para oeste, além das áreas de exposição atual, pode ser constatado pelos afloramentos do embasamento basáltico nos fundos de vales, assim como pela presença de arenitos silicificados presentes nas juntas de resfriamento do basalto, localizados na região de Campo Mourão, fora do domínio atual dos arenitos.

O setor sudeste da Bacia Bauru, especificamente no noroeste do estado do Paraná, onde afloram sequências arenosas cretáceas, faz parte do Terceiro Planalto Paranaense, conforme definido por Maack (1968) ou Planalto Ocidental conforme definido por Almeida (1964). Na parte meridional, circunscrita à área de investigação do presente artigo compreende um setor com altitude variando entre 260 e 478 m, sendo o setor mais elevado relacionado a região de Umuarama (Figura 2), correspondente a Superfície Sul-Americana de King (1956) e idade provável neogênica.

Contexto litoestratigráfico e paleoambiental da borda meridional da bacia Bauru

A borda meridional da Bacia Bauru é representada pelas formações Rio Paraná e Goio-Erê, descritas formalmente por Fernandes (1992 e 1998), que atribui a primeiras construções eólicas de grande porte (*draas*), complexos de dunas sinuosas e amalgamadas em região central de *sandseas*. Para a Formação Goio-Erê, o referido autor atribui a áreas periféricas de *sandseas*, sujeitas a oscilação do nível freático raso, além de dunas eólicas de porte moderado, com cristas sinuosas e interdunas úmidas ou aquosas.

Os estudos feitos na área corroboram as observações feitas por Fernandes (1992, 1994 e 1998), porém as estruturas sedimentares e o conteúdo fossilífero, tanto da Formação Rio Paraná e da Formação Goio-Erê, demonstram paleoambientes mais diversos do que até então havia sido sugerido. Almeida *et al.* (1980), Almeida *et al.* (1981), Riccomini *et al.* (1981), Salamuni *et al.* (1981), Sobreiro Neto *et al.* (1981) entre outros, já atribuíam a formação dos arenitos basais da Bacia Bauru a ambiente aquoso e flúvio-deltaico.

A raridade de fósseis encontrados junto as formações do Grupo Caiuá, bem como as estruturas de dunas de grande porte, reforçaram a hipótese de ambiente seco, incapaz de sustentar uma flora e uma fauna abundante. Ao contrário do Grupo Caiuá, o Grupo Bauru, localizado a norte e noroeste da bacia, foram encontrados fósseis abundantes de fauna de répteis (crocodilianos, quelônios e dinossauros), anfíbios, peixes, moluscos (bivalves e gastrópodes), crustáceos (conchostráceos e ostracodes), além de vegetais (oogônios de algas carófitas e rizólitos). Todos esses concentrados em depósitos fluviais e de fluxos torrenciais.

Os primeiros registros da presença de uma fauna de vertebrados junto ao Grupo Caiuá, foram feitos por Leonardi (1977), que identificou pegadas de Terópodes e Tetrápodes, além de pistas de invertebrados, junto a Formação Caiuá, hoje definida como formações Rio Paraná e Goio-Erê, na cidade de Indianópolis e Cianorte, todas situadas na borda sul da Bacia Bauru (Figura 2). A ocorrência de fósseis de ossos de vertebrados, também foram registrados por Fernandes, *et al.* (1994) no norte do Estado do Paraná, junto a Formação Adamantina.

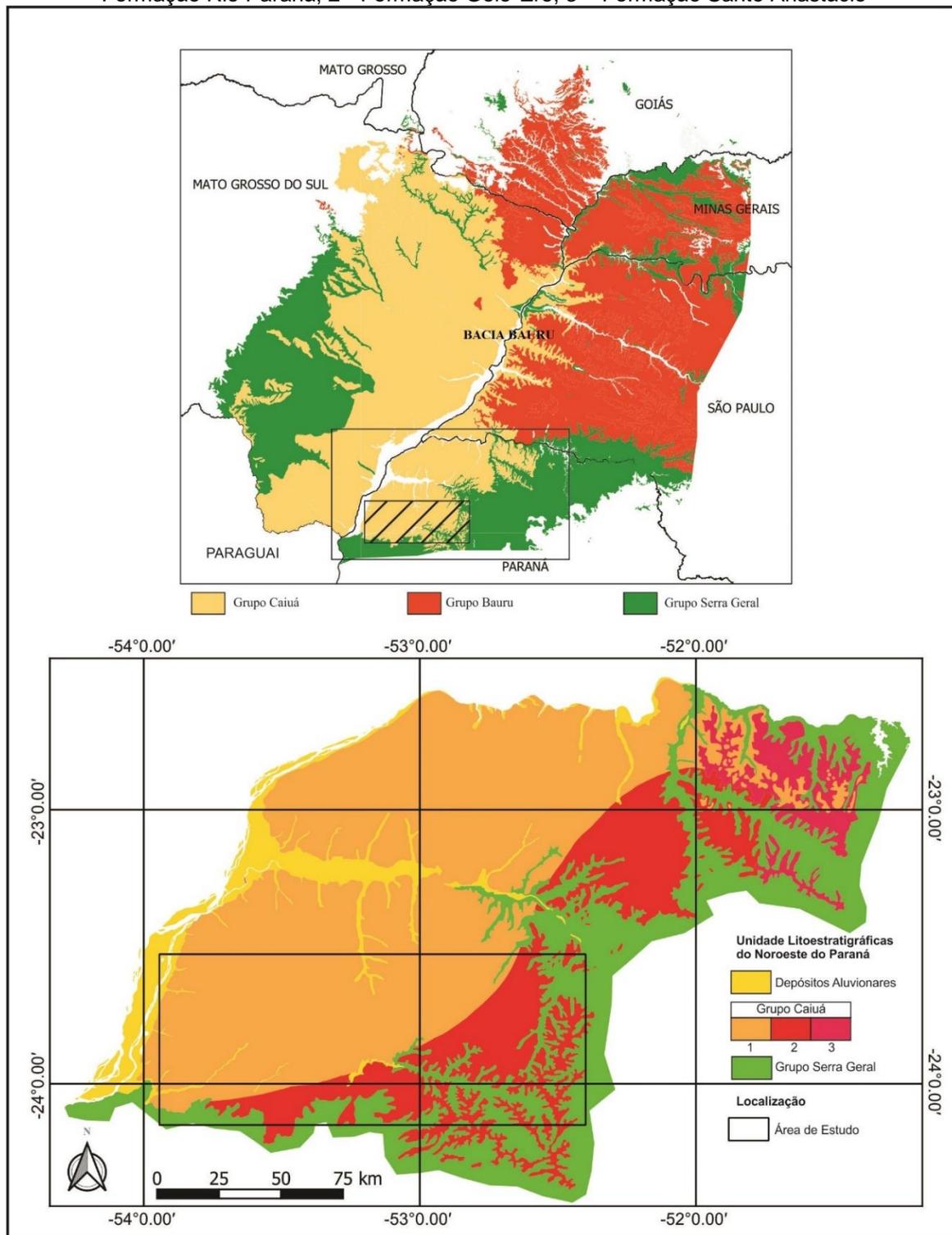
A despeito da distribuição esparsa e rara de material fossilífero em sedimentos no Grupo Caiuá, o registro de novos fósseis tem sido feito no município de Cruzeiro do Oeste por Simões, *et al.* (2015) que descreve um pequeno lagarto acrodonte (*Gueragama sul americana*). No mesmo jazigo fossilífero, Manzig, *et al.* (2014), descrevem uma fauna abundante de pterossauros da espécie *Caiujara dobruskii*, pertencente ao grupo *Tapejaridae*, bem como do grupo *Tapejaridae*, *Keresdrakon vilsoni*, descrita por (Kellner, *et al.*, 2019).

A presença de fósseis de vertebrados, também foi identificada nas mesmas litofácies descritas acima e associados a fósseis de dinossauros terópodes denominado *Vespersaurus paranaensis* (Langer, *et al.*, 2019), o que é condizente com as pegadas registradas nessas formações. No mesmo jazigo fossilífero a presença do primeiro *ceratossauro* edêntulo da América do Sul, denominado de *Berthasaura leopoldinae* (Souza *et al.*, 2021), apresentou novos dados sobre a diversidade alimentar dos *Ceratosauria*, que compreendem os terópodes não aviários, conhecidos também por suas adaptações craniomandibulares peculiares.

Embora ainda existam controvérsias sobre a formação geológica no qual está associada, relacionada a Formação Goio-Erê por Manzig, *et al.* (2014) e Kellner, *et al.* (2019) e a Formação Rio Paraná por

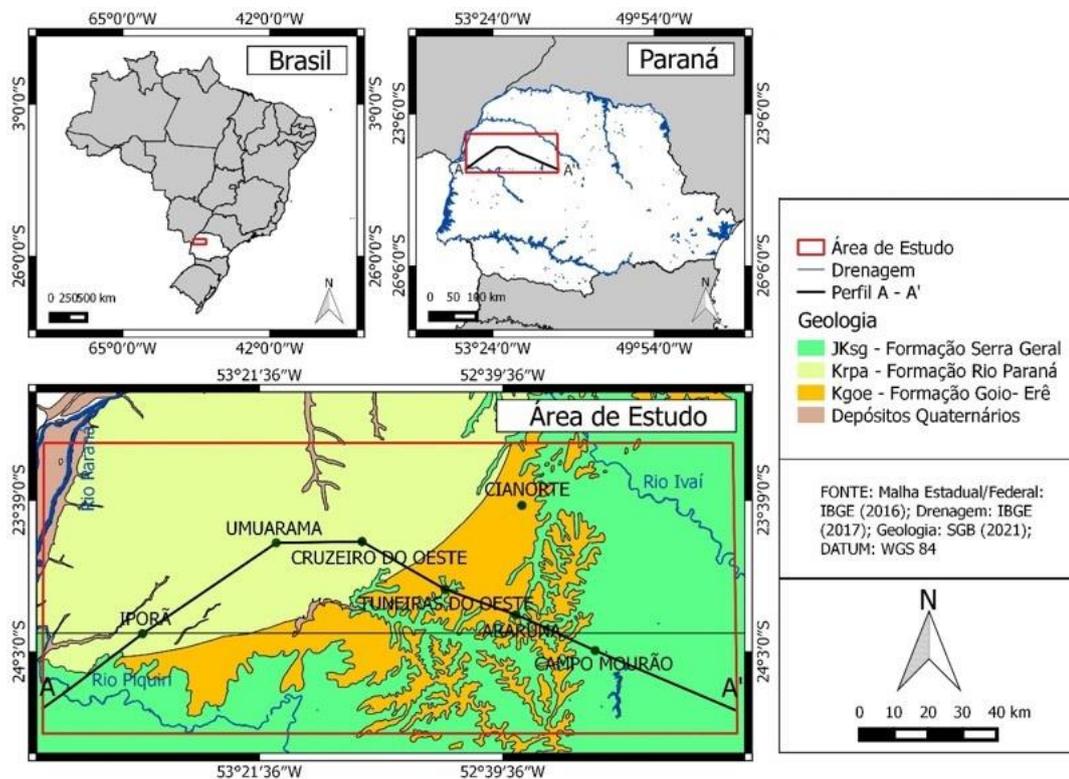
Langer, *et al.* (2019), Lima (2019), Fortes, *et al.* (2019), associamos nesse estudo, a Formação Rio Paraná, baseado no mapeamento geológico feito por Fernandes e Coimbra (2000) e pela distribuição e associação de litofácies de dunas de grande porte.

Figura 1 - Carta de Localização da Bacia Bauru e distribuição das unidades litoestratigráficas. 1 - Formação Rio Paraná, 2 - Formação Goio-Êre, 3 - Formação Santo Anastácio



Fonte: CPRM, 2022.

Figura 2 - Localização e distribuição das unidades geológicas da borda meridional da Bacia Bauru na área de estudo



Organização: Autores (2021).

RESULTADOS

Contexto litoestratigráfico e paleoambiental de fácies fóssilíferas da formação rio Paraná

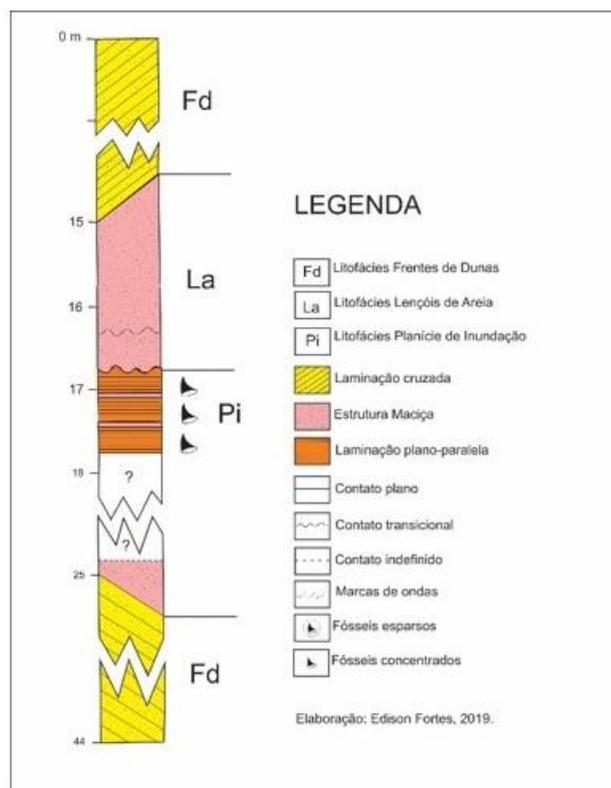
A despeito das controvérsias a respeito da capacidade dos ambientes outrora desérticos e que compõem os arenitos das formações Rio Paraná e Goio-Êre, sustentarem comunidades biológicas em abundância, o jazigo fóssilífero, localizado no município de Cruzeiro do Oeste, no Estado do Paraná, demonstra o contrário.

O afloramento de fácies fóssilíferas ocorre em um setor de ombreira, localizado na média vertente, com área de exposição de 90 m de largura e 3,30 m de altura, ao longo da rua Seiscentos Alqueires, continuidade da rua Peabiru em Cruzeiro do Oeste. A espessura total da fácies fóssilífera foi estimada em 9 m, baseado nas relações altimétricas entre os litossomas sub e sobrejacentes (Figura 3).

As fácies fóssilíferas estão sotopostas e sobrepostas por depósitos eólicos de frentes de dunas de grande porte, apresentando estratos com laminações cruzadas de frentes de dunas com orientação N20°E/17°NW, sotoposto as litofácies fóssilíferas e orientação N27°W/7°SW sobrepostas a sequência mencionada. Contudo, as relações basais de contato com depósitos eólicos ainda não são conhecidas, em virtude dos depósitos se distribuírem ao longo da vertente. Sendo assim, os depósitos eólicos de frentes de dunas, da parte inferior e superior do perfil não são objeto de análise no presente artigo.

Os depósitos com registro fóssilífero compreendem estratos tabulares milimétricos e centimétricos, com estratificação plano-paralela mal definida, de cor avermelhada clara e formando uma sequência, com cerca de 1,0 m de espessura. Essa sequência apresenta teores equilibrados de silte, areia muito fina e areia fina em torno de 30% cada. A presença de argila é constatada em teores inferiores a 13%. Os sedimentos são polimodais, com seleção moderada a bem selecionada, variando de leptocúrticas a mesocúrticas, o que reflete a predominância significativa dos grãos arenosos mais finos.

Figura 3 - Coluna estratigráfica das litofácies da Formação Rio Paraná, município de Cruzeiro do Oeste



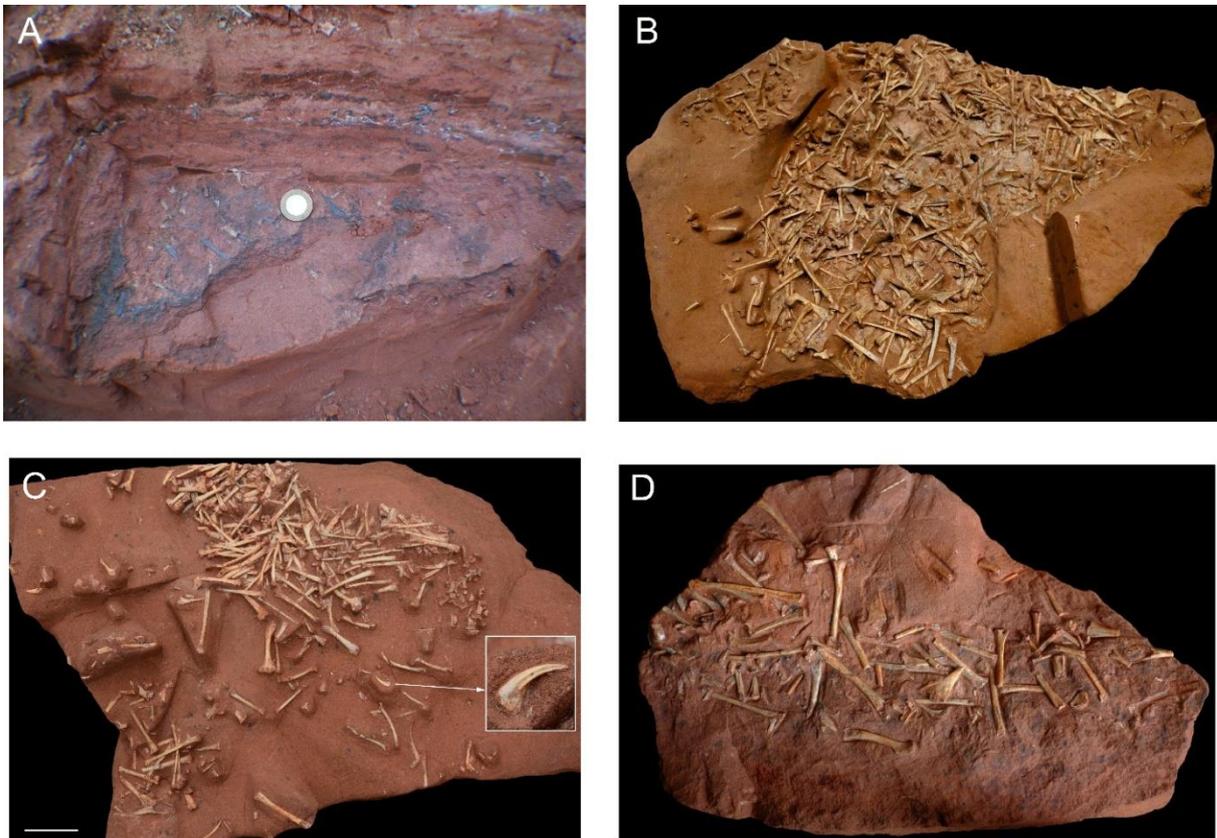
Organização: Autores, 2021.

As fácies fossilíferas mais destacadas, formam uma sequência rítmica de pelo menos três camadas arenosas maciças, bem definidas, de cor vermelha clara, com fragmentos fósseis e cujos limites ocorrem a partir de intercalações ricas em ossos de pterossauros revestidos por película de óxido de ferro (Hematita), que emprestam uma coloração preta para essas laminações (Figura 4A). Essas laminações com abundante conteúdo fóssil, marcam o topo de cada camada arenosa, e registram o estágio final de processos deposicionais, associados a ciclos de cheias em planície de transbordamento e/ou baixios topográficos, e cujo conteúdo faunístico, por ser mais leve e com ossos pneumáticos, teriam sido os últimos a serem assentados no substrato.

Os fósseis identificados (Figura 4), são na maioria de pterossauros da espécie *Caiuajara dobruskii*, pertencentes ao grupo *Tapejarida* (Manzigt *et al.*, 2014), bem como do grupo *Tapejaridae*, *Keresdrakon wilsoni* (Kellner, *et al.*, 2019). A associação da litofácies com fóssil de dinossauro terópode não foi possível ser estabelecida.

Os fósseis são constituídos, na maior parte, por peças e fragmentos desarticulados e misturados, distribuídos de forma caótica, podendo formar *bone bed*, com 14 a 17 indivíduos numa única peça ou partes isoladas, sem orientação preferencial (Figuras 4). A grande quantidade de fósseis e sua concentração permite inferir que essas espécies viviam em comunidade em sua área de origem e as condições de deposição e fossilização envolveriam processos sedimentares de acreção lateral e vertical associada a cheias relâmpagos.

Figura 4 - Aglomerados de fósseis de pterossauros. Em A, condições de jazimento em intercalações areníticas. Em B, *bone bed* formado por restos esqueléticos de pterossauros. Em C e D, são evidenciados fragmentos e partes esqueléticas de fauna de pterossauros distribuídos aleatoriamente, notar detalhe na foto C (MHCA V-0021), com uma garra de pterossauro, nos demais estão presentes vertebras, fêmur, tíbias e fíbrias, crânios, úmeros e escápulas (MHCA V-0037 e MHCA V-0038)



Fontes: Fotos B, C e D pertencem ao Museu de Paleontologia de Cruzeiro do Oeste.

A sequência rítmica de camadas com fósseis é, predominantemente, quartzosos, porém também ocorrem secundariamente, Caulinita e Hematita. Dados de MEV-EDS corroboram a composição química obtida por DRX. A variedade de argilominerais, além de pequena, também estão presentes em pouca quantidade, ocorrendo na forma de revestimento de parede dos poros.

Segundo Fernandes (1992), a Caulinita provenientes de afloramentos do arenito Caiuá, tem origem a partir da autigênese de argilominerais detríticos, como a esmectita, illita e feldspatos, mais frequentemente encontrados em subsuperfície, refletindo a origem durante a diagênese tardia ou por processos intempéricos superficiais (telodiagênese). A despeito de Caulinita encontrada não permitir um diagnóstico seguro do ambiente deposicional, é possível admitir a presença de Caulinita de origem detrítica, considerando suas relações com as condições de maior umidade durante o processo de sedimentação, que permitiu a remoção do magnésio e a formação desse argilomineral.

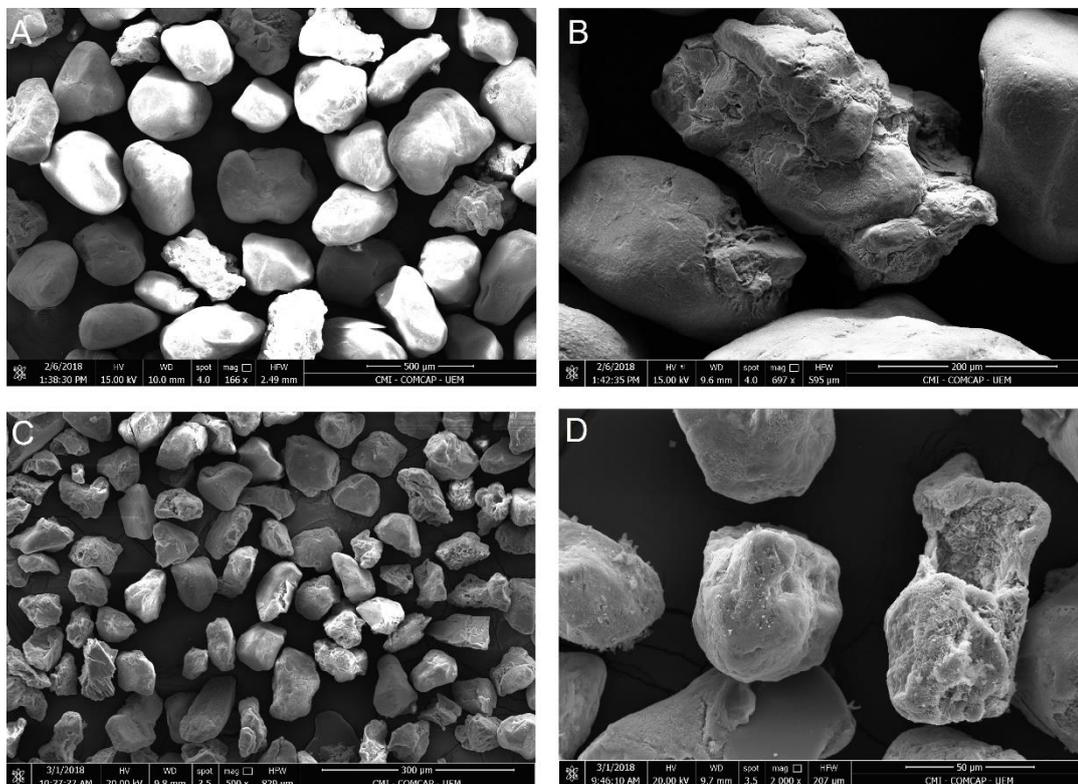
A Hematita ocorre agregada por cimento sílico-ferruginoso, formando uma película agregada aos grãos de quartzo e ao material fóssil. Nesse último caso, ele se dispõe acompanhando o nível fóssilífero, marcando o contato dos estratos rítmicos, podendo ser atribuída a condições pós-diagenéticas.

Nos seus aspectos texturais, os grãos de quartzo são sub-arredondados a arredondados nas frações maiores e angulares a subangulares nas frações mais finas. Os grãos de quartzo apresentam em superfície fraturas e cavidades associados a processos de retrabalhamento e alteração química (Figura 5), este último demonstrando transporte a partir de áreas fontes mais úmidas, associada as zonas periféricas da Bacia Bauru.

Nas condições descritas acima é possível constatar que as condições deposicionais se deram a partir de eventos recorrentes de fluxos hídricos, possivelmente associados a sazonalidade climática, e indicada pelas intercalações pelíticas e ferruginosas, junto a estratos de arenito.

Com base nessa sucessão de estratos e intercalações, que formam uma sequência rítmica, é possível delimitar uma única litofácies, interpretada neste trabalho, como sendo associada à litofácies planície de transbordamento, cuja concentração de dava junto a baixios topográficos de forma lenta, após o fluxo torrencial, possivelmente associados a canais efêmeros, em sistema fluvial entrelaçado. Essa constatação é reforçada pela frequência mais elevada, de até 60%, de grão angulosos, das frações sedimentares mais finas.

Figura 5 - Fotomicrografias de frações de areia das fácies fossilíferas. A e C – Fração 0,250 mm (A) e 0,125 mm (C), grãos com bom grau de arredondamento e esfericidade, alguns com evidências de dissolução química. Em B e D – Grão com cavidades e fraturas que evidenciam processos de alteração química e retrabalhamento do material



Organização: Autores, 2021.

Os fósseis presentes nessa litofácies reforçam essa afirmação, considerando que os mesmos ocorrem em pelo menos duas condições de jazimento: uma esparsa associada ao arenito e outra de forma concentrada, evidenciada pelas interações.

O limite superior da litofácies de planície de transbordamento é concordante e transicional, com pelo menos, dois estratos de geometria tabular, com espessuras de aproximadamente 0,50 m (base) e 1,0 m no topo (Figura 2), constituída de arenito, texturalmente e mineralógicamente maduro, apresentando lineações plano-paralelas tênues a maciço, apresentando pequenas marcas de ondas mal definidas (*ripples marks*), no limite entre ambos estratos. Raros fragmentos de até 1 cm de material fóssil, possivelmente associada a fauna de pterossauros, pode ser encontrado de forma esparsa junto ao estrato da base.

Os estratos são avermelhados a alaranjados e constituídos predominantemente de areia quartzosa, revestida por película de óxido de ferro. A distribuição das frações granulométrica é aproximadamente

equivalente entre o silte, a areia muito fina e a areia fina, com teores variáveis entre 23% e 30% de cada fração. Secundariamente ocorre argila, em teores inferiores a 10%, bem como areia média e grossa (1% a 7%). O desvio padrão indicou grau de seleção moderada para todas as amostras, bem como a curtose, com curvas leptocúrticas, indicando a predominância das frações arenosas mais finas.

O arredondamento das partículas sedimentares variou de bem arredondas, junto as frações mais grossas, a angulosas nas frações mais finas, o que pode sugerir processos de retrabalhamento posterior dos sedimentos arenosos ou mistura de fontes com diferentes condições hidrodinâmicas.

A despeito das limitações para análise da continuidade lateral dos estratos, a presença de estruturas plano-paralela, associadas a estruturas sedimentares de marcas de ondas, bem como pela correlação com as litofácies basais, nos permite sugerir uma origem associada a lençóis de areia, que num primeiro momento teria sido assentada em condições hidroplásticas, junto a baixos topográficos da planície de transbordamento. As condições de sedimentação eólicas foram se consolidando posteriormente.

A semelhança das frações granulométricas com aquelas das fácies basais de planície de transbordamento, se deve possivelmente a retrabalhamento de sedimentos em áreas fontes próximas, associadas a depósitos eólicos de interior de deserto. A redução brusca do conteúdo fossilífero, se deve a dificuldade de preservação, como resultado de um ambiente hidrodinâmico transitório de deposição e erosão.

A análise das condições paleoecológicas e paleoambientais ainda carecem de aprofundamento, porém apesar da fauna abundante, estudos histológicos realizados em fósseis por Langer et al. (2019) e Souza, et al. (2020) demonstrou que o *Vespersaurus* cresceu mais lentamente que a maioria dos terópodes, estando associado com o tamanho pequeno do corpo ou mesmo as restrições de recursos imposta pelo ambiente local durante o Cretáceo. Estudos realizados em fósseis de pterossauros também indicam que esses se tratavam de indivíduos juvenis tardios ou subadultos no momento do soterramento (Kelner, et al. 2019), favorecendo a interpretação das condições restritivas de ocupação pela fauna, bem como das condições hidrodinâmicas e geodinâmicas ativas no momento da formação do jazigo fossilífero, muito condizente com a interpretação de fluxos sazonais de cheias, que levavam a destruição dos habitats da fauna local.

A despeito da dificuldade de estabelecimento de relações entre a fauna de pterossauros e dinossauros, a presença de répteis voadores distintos no mesmo local, evidencia condições simpátricas na fauna Pterosauria, conforme apontado por Kelner et al. (2019).

A fauna representada por indivíduos de pequeno porte, embora representante de espécimes jovens, pode indicar restrições de ocupação do espaço, que poderia ser constituído de oásis, cujos fluxos hídricos relâmpagos e sazonais levaria a destruição dos habitats, constituído por substrato arenoso e móvel, facilmente mobilizado pelas águas.

CONCLUSÃO

As sequências arenosas que compõem as formações Rio Paraná e Goio-Êre se dispõem na parte noroeste do estado do Paraná, formando um relevo de colinas baixas em contato irregular com coberturas sedimentares quaternárias, e cujas drenagens dissecam vales fazendo aflorar na base rochas ígneas básicas da Formação Serra Geral. As relações de contato das formações Rio Paraná e Goio-Êre, com as ígneas básicas se dá por não conformidade, sendo seu limite marcado pela presença de brechas de clastos de basaltos imersos em matriz areno-argilosas. O limite sudeste da Bacia Bauru é de natureza estrutural, marcado pela presença de altos estruturais e alinhamentos do Rio Piquiri.

O sítio paleontológico de Cruzeiro do Oeste é formado por quartzo-arenito, que compõem sequências faciológicas arenosas, com teores de aproximadamente 90% de grãos finos.

O sítio paleontológico se encontra em situação de média vertente, sendo que estratos com laminações cruzados de frentes de dunas com orientação N20°E/17°NW, na baixa vertente e orientação N27°W/7°SW em afloramento na alta vertente.

A presença abundante de peças e fragmentos fósseis reunidos, localizado junto a Formação Rio Paraná, contrasta com o paleoambiente deposicional, associado a condições eólicas de dunas de grande porte de ambiente desértico. Contudo, a proximidade das bordas da Bacia Bauru, em seus setores meridionais, onde são sugeridas condições de maior umidade, possivelmente associada a

semi-áridez, poderia formar corredores de umidade para o interior do deserto (Formação Rio Paraná), a partir de canais fluviais entrelaçados e efêmeros. Essa hipótese pode ser deduzida pela análise correlativa das fácies que compõem a sequência fossilífera da Formação Rio Paraná, no município de Cruzeiro do Oeste. Nesta, foi identificada sequência rítmica de estratos arenosos finos, com abundante conteúdo fóssil no topo, indicando comunidades de pterossauros, cujas partes esqueléticas se dispõem de forma caótica. Essa disposição indica um processo de fossilização, com envolvimento de condições subaquosas, a partir de fluxos de transbordamento de canal.

As condições efêmeras de fluxo e transbordamento fluvial possivelmente criaram condições restritivas de habitat da fauna local, como atestam estudos histológicos feitos a partir do registro fossilífero de pterossauros e dinossauros terópodes encontrados no local, porém não impedindo o desenvolvimento da mesma, considerando que em ambientes desérticos esses mananciais aquosos podem constituir refúgios para a fauna nos processos migratórios.

A sequência de litofácies de Planície de Transbordamento grada para o topo, de forma transicional, para uma sequência arenosa maciça a plano-paralela mal definida, com presença de pequenas marcas de onda na base, indicando a deposição de arenosa fina, na forma de lençóis de areia. A presença de marcas de ondas na base, indicaria uma condição hidroplástica no início de deposição, que transiciona para condições mais secas em direção ao topo da sequência.

As condições de aridez ou mesmo semi-aridez na borda sudeste da Bacia Bauru é evidenciada pela presença de depósitos de *foresets* de dunas de grande porte e depósitos de interdunas secas. Contudo, a proximidade com as bordas da bacia deveria possibilitar a instalação de drenagens, a partir de um sistema semi-endorréico, cujos fluxos intermitentes ou não poderiam sustentar atividade biológica mais intensa, porém sazonalmente mais torrencial. A presença de grãos sedimentares com marcas de alteração química e o grau de arredondamento dos mesmos podem indicar processos de retrabalhamento sucessivos, bem como seu grau de maturidade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, 41, p.169-263, 1964.
- ALMEIDA, M. A. de.; FERNANDES, L. A.; DANTAS, A. S. L.; SAKATE, M. T.; GIMENEZ, A. F.; TEIXEIRA, A. L.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. de. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Bauru na região do Pontal do Paranapanema no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981. **Anais...** Curitiba: Soc. Bras. de Geologia. Curitiba, p. 77-89, 1981, v. 2.
- ALMEIDA, M. A. de.; STEIN, D. P.; MELO, M. S. de; BISTRICHI, C. A.; PONÇANO, W. L.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M. de. Geologia do Oeste Paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, **Anais...** Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980.
- BASILICI, G.; SGARBI, G. N.; DAL'BÓ, P. F. F. A Sub-bacia Bauru: um Sistema continental entre o deserto e cerrado. In: HASSUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (eds). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, p. 520-543.
- BATEZELLI, A. Continental system tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and their relationship with the tectonic and climatic evolution of South America. **Basin Research**. v. 27 p. 1-25. 2015. <https://doi.org/10.1111/bre.12128>
- BERTINI, R. J., MARSHALL, L. G., GAYET, M.; BRITO, P. Vertebrate faunas from the Adamantina and Marília formations (Upper Bauru Group, Late Cretaceous, Brazil). **Neues Jahrb. Geol. P-M, Stuttgart Germany**, v. 188, n.1, p. 71-101, 1993. <https://doi.org/10.1127/njgpa/188/1993/71>
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil (SGB). Disponível em <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html/> Acesso em: 12 set. 2022.
- FERNANDES, L. A. **Cobertura Cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá**. 129f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Universidade de São Paulo, SP, 1992.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e Evolução Geológica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. 216f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, SP, 1998.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte ocidental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. In: **Boletim Paranaense de Geociências**. n. 55, p. 53-66, 2004.
<https://doi.org/10.5380/geo.v55i0.4283>

FERNANDES, L. A.; COIMBRA A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Rev. Bras. Geociência**. São Paulo, v. 24, n.3, p. 164-176, 1994.
<https://doi.org/10.25249/0375-7536.1994164176>

FERNANDES, L. A.; COIMBRA A. M. Revisão Estratigráfica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 40, p.717-728, 2000.
<https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000304717728>

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M.; HACHIRO, J. Contexto Paleambiental de Ocorrência de Ossos de Vertebrados no Grupo Bauru (ks), Estado do Paraná, Brasil. **Bol. Par. de Geociências**, Curitiba, n.42, p.113-119, 1994.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos River Bar: a study in significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**. Vol. 27, n. 1, p. 3-26, 1957. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>

FORTES, E.; LIMA, R. N.de; VOLKMER, S.; MANZIG, P. C.; MARTINS, N.de O. M.; LANGER, M. C.; SANT'ANA, L. C. F. Reposicionamento e Contextualização Litoestratigráfica dos Vertebrados Fósseis do Grupo Caiuá, Município de Cruzeiro do Oeste. In: CONGR. BRAS. DE PALEONTOLOGIA, 36., 2019, **Boletim de Resumos**. Uberlândia: Sociedade Bras. de Paleontologia, 2019,

KELLNER, A. W. A.; WEINSCHUTZ, L. C.; BANTIN, R. A. M.; SAYÃO, J. M. A new toothless pterosaur (Pterodactyloidea) from Southern Brazil with insights into the paleoecology of a Cretaceous desert. **Anais da acad. Bras. de Ciências**, v. 91, supl. 2, Rio de Janeiro, 32p. 2019.
<https://doi.org/10.1590/0001-3765201920190768>

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 18, n. 2, p.147-265, 1956.

KRUMBEIN, W.C. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 11, n. 2, p.64-72, 1941.
<https://doi.org/10.1306/D42690F3-2B26-11D7-8648000102C1865D>

LANGER, M. C., MARTINS, N. O.; FERREIRA, G. A. MARSOLA, J. C. de; FORTES, E.; LIMA, R.; SANT'ANA, L.C.F.; VIDAL, L. da S.; LORENÇATO, R. H. da S.; EZCURRA, M. D. A new desert-dwelling dinosaur (Theropoda, Noasaurinae) from the Cretaceous of south Brazil. **Scientific Reports**. New York, v. 9, p.1-13, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45306-9>

LEONARDI. G. Two new ichnofaunas (Vertebrates and Invertebrates) in the eolian Cretaceous sandstones of the Caiuá Formation in Northwest Paraná. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, 1., **Ata**. São Paulo: Núcleo de São Paulo da Sociedade Brasileira de Geologia, 1977.

LIMA, R.N. **Fácies Fossilíferas e Aspectos Paleogeográficos da Formação Rio Paraná na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas – Cruzeiro do Oeste – PR**. 2019. 112f. Dissertação. (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, PR, 2019.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. 350 p., 1968.

MANZIG, P. C.; KELLNER, A. W. A.; WEINSCHUTZ, L. C.; FRAGOSO, C. E.; VEGA, C. S.; GUIMARÃES, G. B.; GODOY, L. C.; LICCARDO, A.; RICETTI, J. H. C.; MOURA, C. C. Discovery of a Rare Pterosaur Bone Bed in a Cretaceous Desert with Insights on Ontogeny and Behavior of Flying Reptiles. **PlosOne**, San Francisco, v. 9, p.1-10, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100005>

MILANI, E. J.; MELO, J. H.; FERNANDES, L. A.; e FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Bol. Geociências da Petrobras**, v. 15, p. 265-287, 2007.

PAULA e SILVA, F. de; KIANG, C.H.; CAETANO-CHANG, M. R. Perfis de Referência do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo, UNESP. v. 22, n. Especial, p.21-32., 2003.

RICCOMINI, C.; GIMENEZ, F.A.; PIRES NETO, A.G.; STEIN, D.P.; ALMEIDA, F.F.M. de; DEHIRA, L.K.; MELO, M.S. de; BRAGA, T. de O.; PONÇANO, W.L. Características da Porção Basal da Formação Caiuá no Noroeste do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, 1981.

RICCOMINI, C. Arcabouço Estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. de Geoc.**, v. 27, n.2, p.153-162, 1997.

<https://doi.org/10.25249/0375-7536.1997153162>

RITTENHOUSE, G. A Visual Method of Estimating Two Dimensional Sphericity. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 13, n. 2, p.79-81, 1943.

SÁ, I. S. de. **Contribuições à Estratigrafia da Bacia Bauru: Estruturas Sedimentares e Aspectos Faciológicos de uma Seção Geológica da Formação Goio-Êre (Grupo Caiuá)**. Maringá, 2021. 113f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, PR, 2021.

SALAMUNI, R.; LANDIN, P.M.B.; SLONGO, T.T.; SOBREIRO NETO, A.F.; PAIVA FILHO, A. Observações sobre o ambiente de deposição da Formação Caiuá no Noroeste do Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, 1981.

SANTUCCI, R.M.; BERTINI, R.J. A large sauropod titanosaur from Peirópolis Bauru Group, Brazil. **Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie**, Monatshefte, Stuttgart Germany, n. 6, p. 344-360, 2006.

SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**. 24(3): 151-158, 1954. <https://doi.org/10.1306/D4269774-2B26-11D7-8648000102C1865D>

SOBREIRO NETO, A.; BARTORELLI, A.; ARAÚJO, C.H.A.; NICO, JR. E.L.; SEIGNEMARTIN, C.L.; COUTO, E.A. do; SUGUIO, K. Fácies fanglomeráticas das formações Caiuá e Santo Anastácio no norte do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, 1981.

SOUZA, G. A. de.; SOARES, M. B.; BRUM, A. S.; ZUCOLOTTI, M.; SAYÃO, J. H.; WEINSCHUTZ, L. C.; KELLNER, A. W. A. Osteohistology and growth dynamics of the Brazilian noasaurid *Vespersaurus paranaenses* Langer et al., 2019 (Theropoda: Abelisauroidea). **Peer J**, n. 8, p.1-32. 2020. <https://doi.org/10.7717/peerj.9771>

Recebido em: 29/08/2023

Aceito para publicação em: 13/12/2023