



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Letícia Paiva Belfort

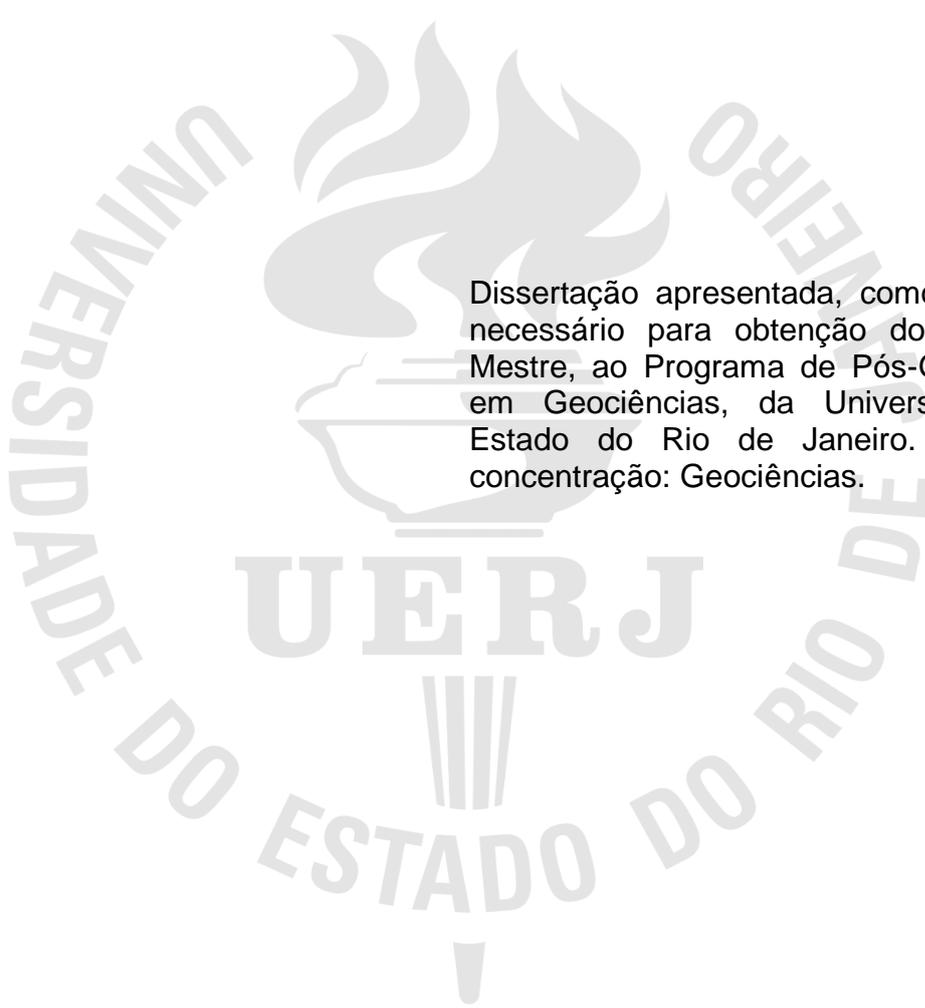
**Estudo tafonômico de vertebrados terrestres fósseis da Formação
Açu (Albiano-Cenomaniano da Bacia Potiguar), Nordeste do Brasil**

Rio de Janeiro

2022

Letícia Paiva Belfort

Estudo tafonômico de vertebrados terrestres da Formação Açu (Albiano-Cenomaniano da Bacia Potiguar), Nordeste do Brasil



Dissertação apresentada, como requisito necessário para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior

Coorientadora: Prof.^a Dr^a. Lílian Paglarelli Bergqvist

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

B428 Belfort, Letícia Paiva.
Estudo tafonômico de vertebrados terrestres fósseis da
Formação Açú (Albiano-Cenomaniano da Bacia Potiguar),
Nordeste do Brasil / Letícia Paiva Belfort. – 2022.
94 f. : il.

Orientador: Hermínio Ismael de Araújo Júnior.
Coorientadora: Lílian Paglarelli Bergqvist.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Geociências – Teses. 2. Tafonomia – Potiguar, Bacia (RN e
CE) – Teses. 3. Icnologia – Potiguar, Bacia (RN e CE) – Teses. 4.
Dinossauros – Teses. I. Araújo Júnior, Hermínio Ismael de. II.
Bergqvist, Lílian Paglarelli. III. Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 568.19 (812/813)

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Letícia Paiva Belfort

**Estudo tafonômico de vertebrados terrestres da Formação Açu (Albiano -
Cenomaniano da Bacia Potiguar), Nordeste do Brasil**

Dissertação apresentada, como requisito necessário para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geociências.

Aprovada em 27 de Julho de 2022.

Orientador: Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior
Faculdade de Geologia - UERJ

Coorientadora: Prof.^a Dr^a. Lílian Paglarelli Bergqvist
Instituto de Geociências – UFRJ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando Henrique de Souza Barbosa
Faculdade de Geologia - UERJ

Prof. Dr. Kleberson de Oliveira Porpino
Departamento de Ciências Biológicas - UERN

Prof. Dr. Marcos César Bissaro Júnior
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto - USP

Rio de Janeiro

2022

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus pais, Rosâne de Oliveira Paiva e Antônio Carlos Faria Belfort.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), por todo auxílio, orientação, amizade e paciência durante esse tempo tão complicado de realização deste trabalho. Você foi um anjo durante todo esse tempo e um exemplo a ser seguido.

À Prof.^a Dr.^a. Lílian Paglarelli Bergqvist, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), por contribuir amplamente com todas as dúvidas e ceder os fósseis que foram analisados, somando a este trabalho. Muito obrigada por tudo.

Aos amigos e colegas de pós-graduação do Laboratório de Paleontologia da UERJ e do Laboratório de Macrofósseis da UFRJ, que acrescentaram imensamente a todo o meu conhecimento. Em especial, Ingrid Martins Machado Garcia Veiga e Luiza Bomfim Melki por amizade, ajuda e paciência. Gustavo Prado Martins, por todo auxílio na interpretação fossilídiagnética. E Fernando Henrique de Souza Barbosa, apesar de minha banca, construímos uma amizade na qual sei que posso contar.

À equipe do Instituto Virtual de Paleontologia do Estado do Rio de Janeiro (IVP-RJ), por todo apoio e amizade construída durante o mestrado. É um lindo projeto de extensão, no qual, amo fazer parte.

Ao Dr. Maurício Nascimento Menezes, pela imagem e informações relacionadas ao perfil estratigráfico.

À Marianni Picciani, secretária do Programa de Pós-graduação em Geociências da UERJ, pela atenção e disposição na resolução de problemas ao longo deste curso.

A todos os professores que encontrei durante o curso. Suas matérias foram essenciais para esse caminho.

Ao Programa de Pós-graduação em Geociências (PPGG) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pela oportunidade de estudo, pelo crescimento acadêmico e pessoal.

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo custeio e apoio à pesquisa, através das bolsas de mestrado concedidas.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho durante esse período tão caótico.

I'm woman, I'm fearless, I'm divine, I'm unbeatable, I'm creative, I'm feminine,
I'm masculine, I'm anything I want.

Emmy Meli

RESUMO

BELFORT, L.P. *Estudo tafonômico de vertebrados fósseis da Formação Açu (Albiano-Cenomaniano da Bacia Potiguar), Nordeste do Brasil*. 2022. 94f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

A Bacia Potiguar é conhecida paleontologicamente desde o século XIX por seus afloramentos da Formação Jandaíra, mas muito pouco se conhecia de outras formações. Por meio de pesquisas recentes na Formação Açu (unidade operacional 4), pesquisadores coletaram fósseis de vertebrados de grande porte, identificados como dinossauros, com associação a peixes e crocodiliformes. Devido a isso, esse trabalho tem como objetivo descrever e interpretar, pela primeira vez, assinaturas tafonômicas macro e microscópicas de alguns pontos específicos da área aflorante. O material analisado consiste em 142 espécimes, e sua maior parte é composta por vértebras e ossos longos. Os fósseis estão tombados na Coleção de Paleontologia do Departamento de Geologia (DEGEO), Instituto de Geociências (IGEO), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Foram utilizados três pontos de coleta denominados de Ponto 1.1, Ponto 1.2 e Ponto 2.3. Foram avaliados as seguintes feições macroscópicas: (A) articulação e fragmentação; (B) representatividade óssea; (C) equivalência hidráulica; (D) padrões de quebra; (E) marcas de intemperismo; (F) abrasão; (G) marcas de pisoteio; (H) bioerosão causada por invertebrados; (I) marcas de raízes e (J) padrões de coloração. Para análise microscópicas, foram analisadas: (A) índice histológico; (B) taxa de preenchimento; (C) taxa de substituição; (D) fraturamento. Todos os espécimes apresentaram-se desarticulados. A análise de transportabilidade por *FTI* indica uma assembleia periférica pelo predomínio do Grupo I (53,45%), sendo 50% de vértebras. Em relação à abrasão, 34% apresentam abrasão e 32% abrasão moderada, sugerindo moderado transporte. Há uma prevalência do grau 2 de intemperismo (40%), sugerindo moderada exposição subaérea. A presença de bioerosão por insetos e marcas de dentes reforçam que houve exposição subaérea. Há presença de fósseis com marcas de raízes, mostrando que houve presença de vegetação no local do soterramento. A análise das lâminas petrográficas mostrou altas taxas de substituição por carbonato de cálcio e óxido de ferro, assim como o preenchimento dos ósteons, além de elevadas taxas de fraturamento por intemperismo físico relacionado a ressecamento. Somando, os dados bioestratinômicos e fossildiagnéticos, indicam um ambiente úmido com momentos de baixa pluviosidade, mostrando que há diferenças entre os pontos mas correspondem ao mesmo ambiente tafonômico.

Palavras-chave: Tafonomia. Cretáceo médio. Bacia Potiguar. Formação Açu. Dinossauros. Icnologia.

ABSTRACT

BELFORT, L.P. *Taphonomic study of fossil vertebrates from the Açú Formation (Albian-Cenomanian of the Potiguar Basin), Northeastern Brazil*. 2022. 94f.

Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

The Potiguar Basin has been paleontologically known since the 19th century for its outcrops of the Jandaíra Formation, but very little was known about other formations. Through recent research in the Açú Formation (operational unit 4), researchers have collected fossils of large vertebrates, identified as dinosaurs, associated with fish and crocodyliforms. Therefore, this work aims to describe and interpret, for the first time, macro and microscopic taphonomic signatures of some specific points in the outcrop area. The analyzed material consists of 142 specimens, most of which are composed of vertebrae and long bones. The fossils are listed in the Paleontology Collection of the Department of Geology (DEGEO), Institute of Geosciences (IGEO), of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). Three collection points called Point 1.1, Point 1.2 and Point 2.3 were used. The following macroscopic features were evaluated: (A) articulation and fragmentation; (B) bone representativeness; (C) hydraulic equivalence; (D) breakage patterns; (E) weathering marks; (F) abrasion; (G) trampling marks; (H) bioerosion caused by invertebrates; (I) root marks and (J) staining patterns. For microscopic analysis, the following were analyzed: (A) histological index; (B) fill rate; (C) replacement rate; (D) fracturing. All specimens were disarticulated. The transportability analysis by FTI indicates a peripheral assembly due to the predominance of Group I (53.45%), being 50% of vertebrae. In relation to abrasion, 34% present abrasion and 32% moderate abrasion, suggesting moderate transport. There is a prevalence of grade 2 weathering (40%), suggesting moderate subaerial exposure. The presence of bioerosion by insects and teeth marks reinforce that there was subaerial exposure. There are fossils with root marks, showing that there was vegetation at the burial site. The analysis of the petrographic slides showed high rates of replacement by calcium carbonate and iron oxide, as well as the filling of osteons, in addition to high rates of fracturing by physical weathering related to dryness. In addition, the biostratigraphic and fossil diagenetic data indicate a humid environment with moments of low rainfall, showing that there are differences between the points but they correspond to the same taphonomic environment.

Keywords: Taphonomy. Mid Cretaceous. Potiguar Basin. Açú Formation. Dinosaurs. Ichnology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Os principais caminhos dos restos orgânicos da morte até a coleta de espécimes fósseis.....	14
Figura 2 –	Subdivisões da Tafonomia, seus principais processos tafonômicos e ciências correlatas.....	15
Figura 3 –	Mapa da parte emersa da Bacia Potiguar.....	20
Figura 4 –	Mapa do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar.....	21
Figura 5 –	Perfil esquemático da parte emersa da Bacia Potiguar.....	23
Figura 6 –	Coluna estratigráfica da Bacia Potiguar.....	28
Figura 7 –	Mapa aéreo dos afloramentos e pontos descobertos pela equipe do Laboratório de Macrofósseis/UFRJ.....	29
Figura 8 –	Perfil estratigráfico do Ponto 1.1.....	31
Figura 9 –	Perfil estratigráfico do Ponto 1.2.....	34
Figura 10 –	Perfil estratigráfico do Ponto 2.3.....	41
Figura 11 –	Padrões de quebra.....	45
Figura 12 –	Diagrama ilustrando os atributos mais comuns de ichnotaxobases para fósseis de traços de bioerosão em ossos e sua terminologia.....	46
Figura 13 –	Desenho esquemático do suposto ichnotaxa atribuído a invertebrados terrestres que ocorrem na superfície de ossos encontrados em depósitos continentais.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de equivalência hidráulica entre elementos esqueléticos e grãos de quartzo proposta por Behrensmeier, (1975).....	38
Tabela 2 – Grupos de transportabilidade de vertebrados de médio porte.....	39
Tabela 3 – Valores de FTI estabelecidos por Frison & Todd (1986) para elementos esqueléticos e <i>Elephas maximus</i>	39
Tabela 4 – Estágios de desgaste relacionados ao número de anos desde a morte.....	43
Tabela 5 – Graus de abrasão em superfície óssea e graus de desgaste.....	43
Tabela 6 - Número de lâminas descritas para cada localidade.....	47
Tabela 7 - Valores de Índice Histológico definidos para resumir o grau de modificação diagenética.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DEGEO	Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
FGEO	Faculdade de Geologia
FTI	<i>Fluvial Transport Index</i> (Índice de Transporte Fluvial)
IGEO	Instituto de Geociências
LGPA	Laboratório Geológico de Processamento de Amostras
PPGG	Programa de Pós-graduação em Geociências
PPGL	Programa de Pós-graduação em Geologia
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1 OBJETIVOS	18
1.1 Geral.....	18
1.2 Específicos.....	18
2 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	19
2.1 Geologia Regional da Bacia Potiguar.....	19
2.2 Litoestratigrafia da Bacia Potiguar.....	21
2.3 Contexto Geológico da Formação Açu.....	26
2.4 Área de Estudo.....	27
2.4.1 <u>Ponto 1.1</u>	29
2.4.2 <u>Ponto 1.2</u>	30
2.4.3 <u>Ponto 2.3</u>	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1 Análises macroscópicas.....	36
3.1.1 <u>Articulação e Fragmentação</u>	36
3.1.2 <u>Representatividade óssea</u>	37
3.1.3 <u>Equivalência hidráulica</u>	37
3.1.4 <u>Transportabilidade óssea</u>	38
3.1.5 <u>Padrões de quebra</u>	40
3.1.6 <u>Marcas de intemperismo</u>	41
3.1.7 <u>Abrasão</u>	43
3.1.8 <u>Marcas de pisoteio</u>	44
3.1.9 <u>Marcas de dentes</u>	44
3.1.10 <u>Bioerosão causada por invertebrados</u>	44
3.1.11 <u>Marcas de raízes</u>	46
3.1.12 <u>Padrões de coloração</u>	46
3.2 Análises microscópicas.....	47
3.2.1 <u>Índice Histológico (I.H.)</u>	47
3.2.2 <u>Grau de Permineralização</u>	48
3.2.3 <u>Grau de Substituição</u>	49

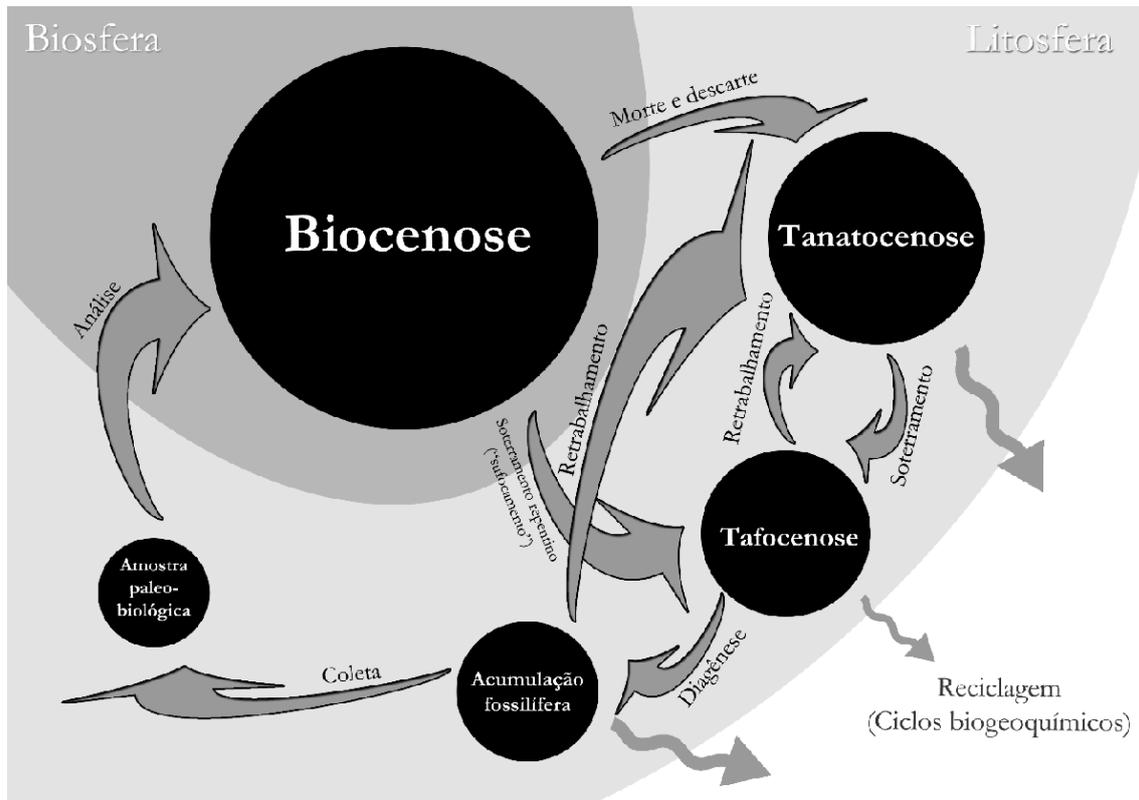
3.2.4	<u>Faturamento.....</u>	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
	Artigo submetido para apreciação no periódico <i>Cretaceous Research</i> (Qualis B1 da Capes)	
	CONCLUSÕES.....	88
	REFERENCIAS.....	89

INTRODUÇÃO

Tafonomia

O termo “Tafonomia” tem origem grega: *tafos* = sepultamento; *nomos* = leis, isto é, a ciência que estuda as “leis do sepultamento”. É uma área de estudo que se dedica à compreensão de como ocorreu a preservação de restos e vestígios orgânicos que estão presentes no registro sedimentar (SIMÕES *et al.*, 2010). Em 1940, Ivan Efremov, definiu a tafonomia, pela primeira vez, como “o estudo das leis que governam a transição dos restos orgânicos da biosfera para a litosfera” (EFREMOV, 1940). No entanto, essa definição não se tornaria suficiente para a evolução que a Tafonomia vem experimentando ao longo de décadas de estudos. Alguns autores encaravam a Tafonomia somente como uma área onde há perda de informação *post-mortem*. E esse significado não englobava a adição de novos processos e alteração dos sítios deposicionais. Assim, Behrensmeier e Kidwell (1985) propuseram uma nova definição para Tafonomia: “o estudo dos processos de preservação e como eles afetam as informações no registro fossilífero”, mostrando a contribuição do estudo para os organismos e para os ambientes ao longo do tempo (Figura 1).

Figura 1 - Os principais caminhos dos restos orgânicos da morte até a coleta de espécimes fósseis.



Fonte: retirado de ARAÚJO-JÚNIOR & BISSARO-JÚNIOR (2017).

Em vertebrados, as modificações biológicas (transporte por carnívoros e/ou necrofagia), químicas (substituição e dissolução da matéria orgânica já soterrada), e físicas (transporte hidráulico e intemperismo), que são evidenciadas nos fósseis, são o meio pelo qual identificamos as assinaturas tafonômicas no registro fóssilífero (BEHERNSMEYER et al., 1978, 1991; KIDWELL & FLESSA, 1996; ROGERS et al., 2007; FERNÁNDEZ-JALVO & ANDREWS, 2016). A partir do reconhecimento dessas assinaturas, a Tafonomia pode auxiliar a reconstrução paleoambiental e a paleoecológica (BEHRENSMEYER & KIDWELL, 1985; BEHRENSMEYER et al., 2000).

O estudo tafonômico pode ser temporalmente subdividido em duas categorias: a bioestratinomia e a fossildiagênese (Figura 2) (SIMÕES *et al.*, 2007).

Figura 2 - Subdivisões da Tafonomia, seus principais processos tafonômicos e ciências correlatas.

TAFONOMIA		EVENTOS	CIENCIAS CORRELATAS
	Diagenese	Soerguimento	Tectônica
		Fossildiagenese	&
	BIOESTRATINOMIA	Soterramento final	Petrografia Sedimentar
		Retrabalhamento	Sedimentologia
		Soterramento	
		Transporte	
		Desarticulação	
		Decomposição	
	Necrologia	Morte	Tanatologia
	Nascimento	Paleoecologia	

Fonte: Retirado de SIMÕES et al (2007).

Na bioestratinomia prevalecem os processos físicos e biológicos, os quais atuam sobre os restos dos organismos da morte até o soterramento, principalmente em suas partes duras. São exemplos os processos de fragmentação, transporte, reorientação, desarticulação, abrasão, intemperismo e necrofagia (LYMAN, 1994; SIMÕES *et al.*, 2007).

Na fase de fossildiagenese ocorrem os processos tafonômicos pós-soterramento, os quais incluem principalmente processos químicos do ambiente. Apesar disso, esses fatores podem variar a depender da estrutura química da água substrato onde está depositado, soterramento e matéria orgânica. São exemplos os processos de permineralização, substituição, incrustação e as fraturas e deformações (HOLZ & SIMÕES, 2002). A preservação dos restos orgânicos vai depender de uma série de fatores atuando simultaneamente como: a natureza do ambiente pré-soterramento, o tempo de permanência no soterramento, atuação de micro-organismos no depósito, misturas temporais e espaciais, entre outros.

Na Paleontologia, a Tafonomia é a ciência que fornece subsídios importantes para a elucidação da qualidade das informações paleoecológicas contidas no registro fóssilífero (BEHRENSMEYER & KIDWELL, 1985).

Para alguns depósitos de vertebrados fósseis brasileiros de idade quaternária e mesozoica, dados tafonômicos são bem conhecidos (e.g. ARAÚJO-JÚNIOR & PORPINO, 2011; ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2012; ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2013a; ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2015; ARAÚJO-JÚNIOR, 2016; BARBOSA & ARAÚJO-JÚNIOR, 2021; CARVALHO 2004; MALDONADO *et al.*, 2016; MARTINS *et al.*, 2018; MULLER *et al.*, 2015; NEVES *et al.*, 2010; TRIFILIO *et a.*, 2022), enquanto para outros, as informações tafonômicas são escassas e se fundamentam em análises superficiais das evidências disponíveis.

A localidade

A Bacia Potiguar localiza-se no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira, ocupando a metade setentrional do Rio Grande do Norte e a região nordeste do Ceará. A paleobiota cretácica da Bacia Potiguar é conhecida, especialmente, pelos fósseis marinhos da Formação Jandaíra (Turoniano-Campaniano) (CASSAB, 2003); sotoposta a esta, a Formação Açú (?Aptiano-Cenomaniano) foi considerada afossilífera até a década de 1960, quando poucos restos de peixe (duas a três impressões de escamas), invertebrados e vegetais foram encontrados (DUARTE & SANTOS, 1962; MUSSA *et al.*, 1984).

Em 2005, pesquisadores do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), em mapeamento geológico na porção superior da Formação Açú (denominada como unidade operacional Açú 4 *sensu* VASCONCELOS *et al.* 1990), encontraram fósseis de vertebrados de grande porte, preliminarmente atribuídos à megafauna quaternária, muito comum no Nordeste brasileiro. Estudos posteriores revelaram que se tratava de ossos de dinossauros, em associação a restos de peixes e crocodilos (SANTOS *et al.*, 2005).

Com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), novas atividades de campo para prospecção e coleta de fósseis foram conduzidas nos arenitos e siltitos da Formação Açú (?Aptiano-Cenomaniano) entre os anos de 2015 e 2019. Até o momento, mais de 2.000 espécimes fósseis foram recuperados dos quatorze pontos de acumulações fossilíferas demarcados em uma área de aproximadamente 78 km². A partir destes materiais, a paleofauna da Formação Açú vem sendo estudada, contando atualmente com oito táxons de

Dinosauria (PEREIRA, 2018; PEREIRA *et al.*, 2020a; 2020b), oito táxons de “peixes” (VEIGA *et al.*, 2019) e um táxon de Crocodyliformes formalmente descritos (RIBEIRO *et al.*, 2021); além disso, restos indeterminados de Testudines e coprólitos já foram reportados para a localidade (e.g., VEIGA *et al.*, 2016). A fauna reconstruída apresenta grande semelhança àquelas conhecidas para a Formação Alcântara (Bacia de São Luís) e unidades do Norte da África, em especial Kem Kem beds, no Marrocos (PEREIRA, 2018; VEIGA *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2021). Por outro lado, pouco se conhece a respeito de sua história de formação, isto é, não há estudos tafonômicos que expliquem os processos bioestratinômicos e fossildiagnéticos que levaram à deposição e preservação de fósseis de vertebrados nessa unidade.

Dinossauros da Formação Açu

Os primeiros estudos relacionados à Formação Açu, referentes a dinossauros, foram publicados por Santos *et al.* (2005). Mais recentemente, Pereira *et al.* (2018 e 2020) em sua pesquisa com 53 espécimes ao todo analisou vértebras que passaram por uma análise taxonômica e espécimes correspondentes aos Sauropoda foram atribuídos aos grupos Titanosauria, ?Camarasauromorpha e Lithostrotia. Já os fósseis correspondentes aos Theropoda, foram classificados dentro de clados como Abelissauridae, Megaraptora, Spinosaurinae, Maniraptora e Carcharodontosauria (PEREIRA *et al.*, 2018, 2020). Esses estudos foram de suma importância para o conhecimento paleontológico da região, mostrando uma diversidade maior do que suposta anteriormente além de proporcionar uma correlação paleofaunística com outras bacias sedimentares da África.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

Descrever e interpretar assinaturas tafonômicas em dinossauros coletados em afloramentos da unidade mais superior da Formação Açu (Unidade Açu-4) da Bacia Potiguar, elucidando diferentes aspectos deposicionais e preservacionais de vertebrados nesta unidade litoestratigráfica, além de estabelecer uma história tafonômica para a localidade.

1.2 Objetivos específicos

- Inferir a história bioestratinômica dos espécimes fósseis;
- Interpretar os processos fossildiagnéticos atuantes na tafocenose a partir de lâminas petrográficas de espécimes fósseis;
- Integrar aspectos deposicionais da Formação Açu a partir da integração do estudo tafonômico com dados sedimentológicos e estratigráficos coletados em campo.

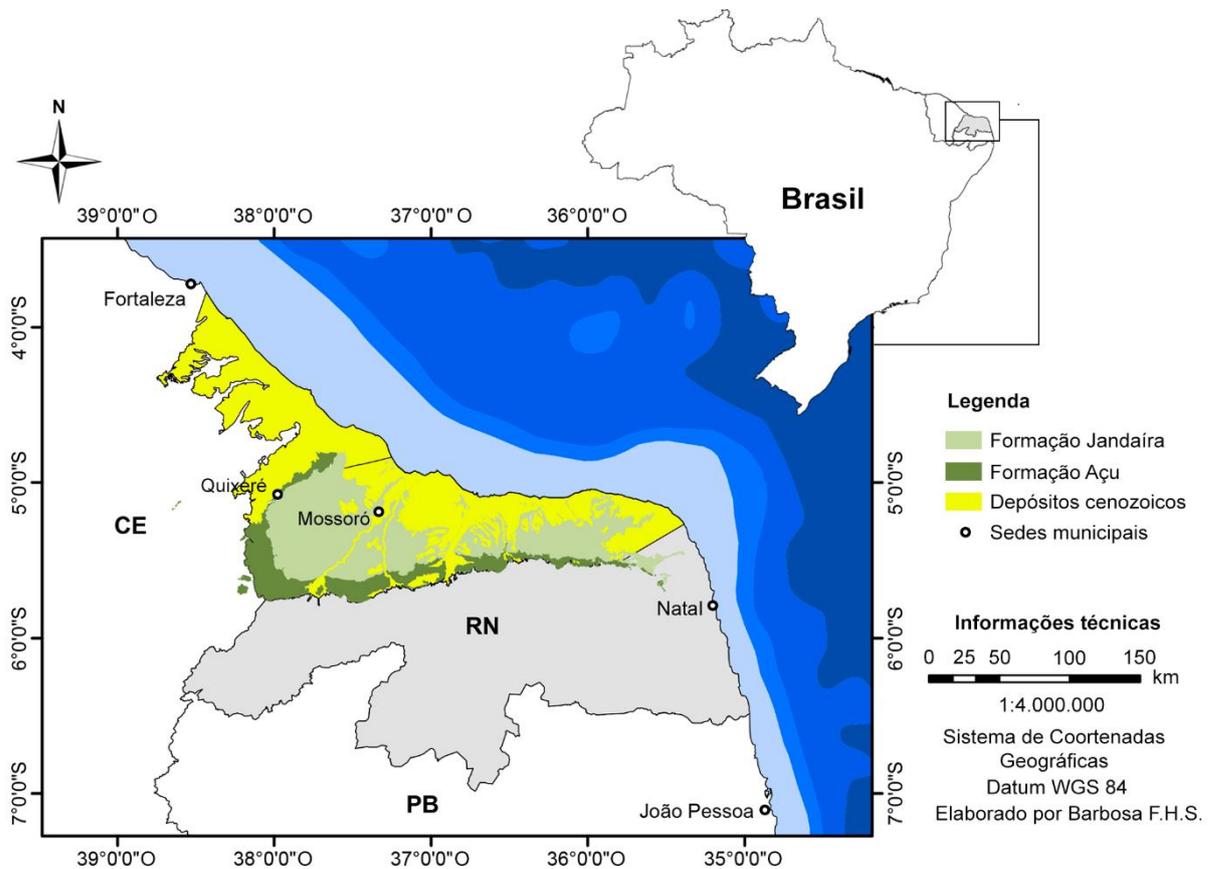
2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Geologia Regional da Bacia Potiguar

A Bacia Potiguar está localizada no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira, ocupando a metade setentrional do Rio Grande do Norte e a região nordeste do Ceará. Sua área total estimada é de 60.000 km², dos quais 24.000 km² se encontram emersos e 36.000 km² submersos (ANGELIM *et al.*, 2006). Mas, há outros autores que estimam uma área menor, de 48.000 km², sendo 21.500 km² emersos e 26.500 km² submersos (PESSOA NETO *et al.*, 2007). Geologicamente, é limitada a sul, leste e oeste por rochas do embasamento cristalino, estendendo-se em direção à bacia marinha a norte até a isóbata de 2.000 m; seus limites oeste e noroeste com a Bacia de Ceará são definidos pelo Alto de Fortaleza, enquanto o Alto de Touros define seu limite leste com a Bacia Pernambuco-Paraíba (COSTA *et al.*, 2014) (Figura 3).

Sua formação teve início no Mesozoico e se deu pelo estiramento crustal da bacia, que resultou do rompimento do supercontinente Gondwana, num processo de rifteamento, ou seja, separação das placas Africana e Sul-Americana para a formação do Oceano Atlântico Sul (PAES-NETO *et al.*, 2007). Esse rifteamento une o Sistema de Riftes do Nordeste Brasileiro, no qual outras bacias de margem passiva e interioranas também estão inclusas (MATOS, 1992; ANGELIM *et al.*, 2006). A idade desse rifteamento na região é relacionada ao período compreendido entre o Jurássico Final e o início do Cretáceo, ou seja, 120 milhões de anos (ALMEIDA *et al.*, 1981; MARASCHIN *et al.*, 2010).

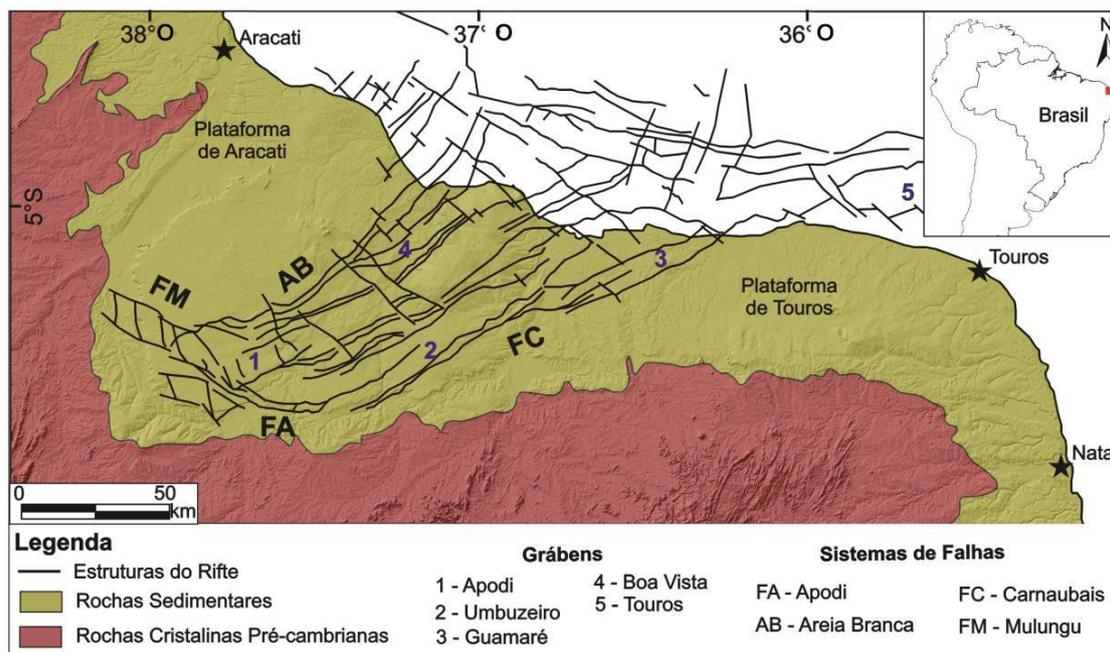
Figura 3 – Mapa da parte emersa da Bacia Potiguar.



Fonte: imagem cedida por Fernando Barbosa.

O embasamento da bacia é composto por rochas da Província Borborema, com datação pré-cambriana (PEDROSA-JÚNIOR *et al.*, 2010). A base estrutural da bacia é constituída na direção NE-SO, por um conjunto de grábens assimétricos (Apodi, Boa Vista, Guamaré e Umbuzeiro). Esses grábens são separados por altos internos do embasamento cristalino (Figura 4), nomeados de Canudos, Quixaba, Mossoró, Serra do Carmo e Macau (BERTANI *et al.*, 1987; CREMONINI *et al.*, 1996; ANGELIM *et al.*, 2006).

Figura 4 – Mapa do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar.



Fonte: Retirado de Melo (2019).

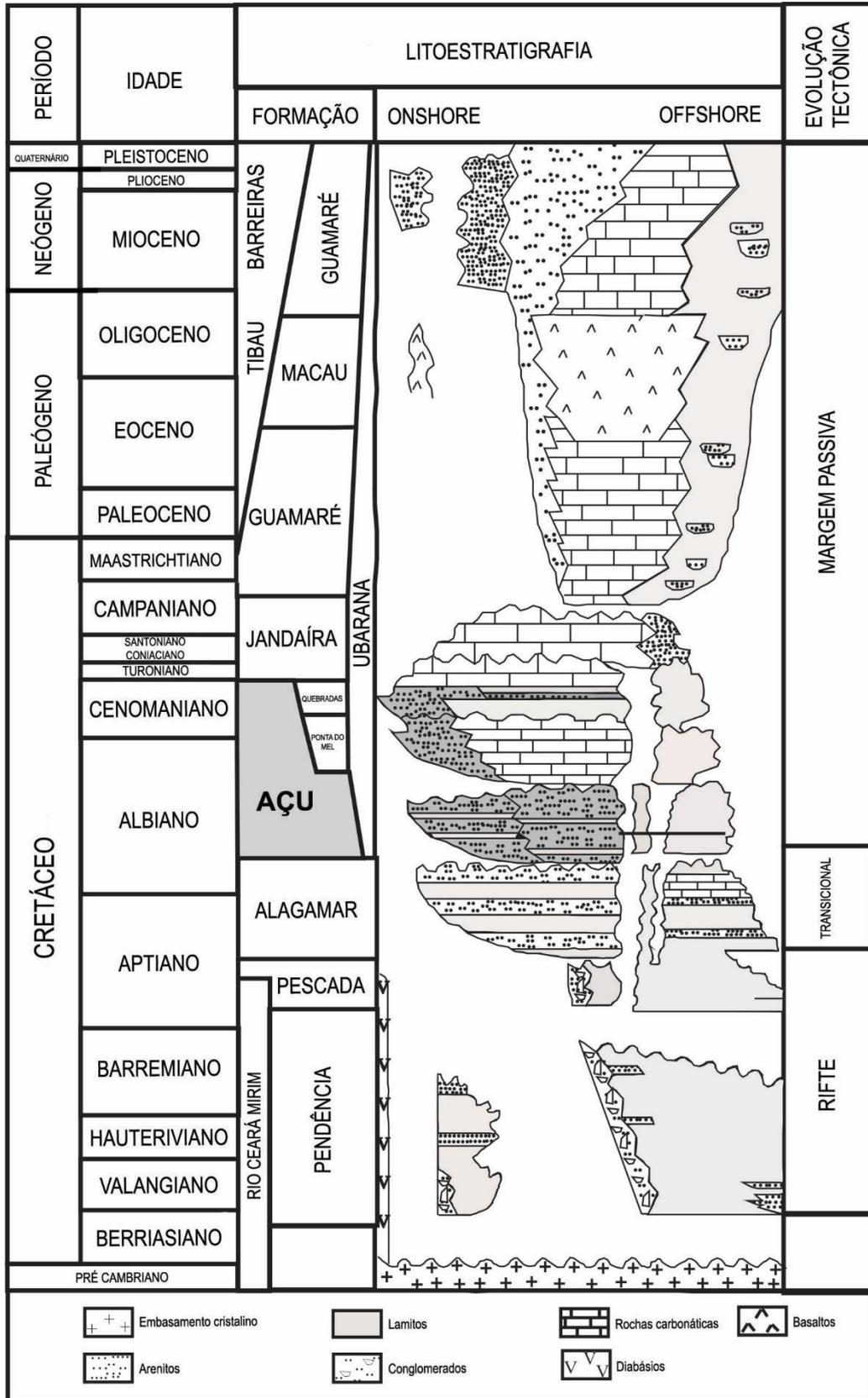
Esta estrutura denominada de Rifte Potiguar é limitada a leste e a oeste pelas falhas Carnaubais e Areia Branca, respectivamente, que constituem um duplo sistema de falhas lístricas normais, que teriam se desenvolvido durante a reativação mesozoica de zonas de cisalhamento neoproterozoicas (MATOS, 1992).

2.2 Litoestratigrafia da Bacia Potiguar

Araripe e Feijó (1994) propuseram uma organização litoestratigráfica para a bacia, sequenciando a sucessão sedimentar em três grupos: Areia Branca, Apodi e Agulha. O Grupo Areia Branca, de conteúdo predominantemente clástico, engloba as formações Pendência, Pescada e Alagamar; o Grupo Apodi é constituído pelas formações Açú, Jandaíra, Ponta do Mel e Quebradas, apresentando um aumento considerável na presença de rochas carbonáticas; e o Grupo Agulhas agrega as formações Ubarana, Guamaré e Tibau, formadas por clásticos e carbonatos de alta e baixa energia.

O preenchimento sedimentar da bacia está diretamente relacionado às fases tectônicas, de forma que o registro estratigráfico das duas fases de rifteamento (Rifte I e Rifte II) corresponde à megassequência continental que compõem a Supersequência Rifte; o da fase transicional, ou pós-rifte, corresponde às sequências transicionais da Supersequência Pós-Rifte; e do fase de deriva continental, ou termal, corresponde às sequências marinhas transgressivas e regressivas que constituem a Supersequência Drifte (PESSOA NETO, 2003; ANGELIM *et al.*, 2006; PESSOA NETO *et al.*, 2007). Essa classificação será a adotada neste trabalho (Figura 5).

Figura 5 - Coluna estratigráfica da Bacia Potiguar.



Fonte: Modificado de MARASCHIN *et al.* (2010).

Essas três supersequências estão correlacionadas a três eventos magmáticos identificados na Bacia Potiguar: Formação Rio Ceará Mirím, Formação Cuó e Formação Macau (PESSOA NETO *et al.*, 2007). A Formação Rio Ceará Mirím ocorre na forma de diques de diabásio com forte orientação E-O no embasamento adjacente à borda sul da Bacia Potiguar e está relacionada à gênese do rifte no final do Neocomiano ($132,2 \pm 1$ Ma). Também está relacionada a esse evento a ocorrência de rochas vulcanoclásticas intercaladas nos sedimentos da parte basal da Formação Pendência. A Formação Serra do Cuó está representada na borda sul da bacia ocorrendo na forma de derrames de basálticos com tendência alcalina durante a Idade Turoniana ($93,1 \pm 0,8$ Ma). Por fim, a Formação Macau apresenta idade Eoceno/Oligoceno com derrames de olivina-basalto de grande magnitude, com picos importantes em $48,9 \pm 2,9$ e $31,4 \pm 1,5$ Ma. Este grande evento magmático pode estar associado à passagem da margem equatorial sobre o *hot spot* de Fernando de Noronha ou ainda estará relacionado à colocação de magmas em zonas de alívio, a partir de ajustes tectônicos intraplaca (PESSOA NETO *et al.*, 2007).

A Supersequência Rifte corresponde ao preenchimento da bacia durante as fases Rifte I (Neobarriasiano-Eobarremiano), caracterizada por um regime de estiramento crustal e responsável pelos depósitos lacustrinos, flúvio-deltaicos e fandeltaicos da Formação Pendências; e Rifte II (Neobarremiano-Eoaptiano), caracterizada pela implantação do regime tectônico que deslocou o eixo de rifteamento para a porção submersa da bacia e causou levantamento e erosão na porção emersa, de forma que o registro dessa segunda fase na Bacia Potiguar é restrito à porção submersa, com depósitos continentais de leques aluviais e sistemas fluviais de alta energia, com bancos carbonáticos restritos, ocorrendo na unidade litoestratigráfica denominada Formação Pescada (PESSOA NETO *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2014).

A Supersequência Pós-Rifte engloba o final da deposição do Grupo Areia Branca (Aptiano-Albiano), relacionada com o momento tectônico marcado por subsidência térmica devido ao início do processo de resfriamento da litosfera, subsequente aos eventos das fases de rifteamento. A sedimentação é dominada pelos sistemas deposicionais flúvio-lacustres da Formação Alagamar. A seção superior desta unidade representa a primeira entrada marinha na Bacia Potiguar,

registrada nas Camadas Ponta do Tubarão (PESSOA NETO, 2003; PESSOA NETO *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2014).

A Supersequência Drifte, depositada entre o Albiano e o Holoceno, teve como regime tectônico controlador a subsidência termal e compensação isostática, típicos do contexto de margem passiva. Essa supersequência congrega o Grupo Apodi e o Grupo Agulha e pode ser dividida em dois conjuntos de sequências: Sequências Marinhas Transgressivas (Eoalbiano-Eocampaniano), representada pela deposição de sedimentos dos sistemas fluviais, costeiros, plataformais, até marinho profundo das formações Açú, Ponta do Mel, Jandaíra e Quebradas; e Sequências Marinhas Regressivas (Neocampaniano-Holoceno), caracterizadas por sistemas mistos compostos por leques costeiros, sistemas de plataformas rasas com borda carbonática e sistemas de talude/bacia, cujos correspondentes estratigráficos são as rochas definidas nas formações Barreiras, Tibau, Guamaré e Ubarana (PESSOA NETO, 2003; PESSOA NETO *et al.*, 2007).

Durante aquela fase, a bacia passava por processos de baixa subsidência e esse sistema passou, vagarosamente, a crescer em direção ao mar para uma plataforma rasa siliciclástica a mista. Houve ainda a implantação de uma sedimentação carbonática na borda da plataforma, além de um sistema de talude/bacia marcando a formação de cânions submarinos com sedimentação turbidítica associada. Esse sistema de avanço marinho no Cretáceo Inicial foi gradativamente afogado e resultou em um empilhamento vertical de sistemas fluviais. Esse afogamento chegou ao ápice durante o Turoniano, surgindo uma extensa plataforma/rampa carbonática formada por maré. Essas sequências marcam registros em períodos importantes, como a deposição da seção flúvio-marinha por sedimentos siliciclásticos da Formação Açú, marinho distais da Formação Quebradas e depósitos carbonáticos marinhos rasos da Formação Ponta do Mel. O pacote carbonático da Formação Jandaíra sobrepõe os depósitos da Formação Açú e representa uma superfície de inundação máxima do Cretáceo Superior. Esse sistema deposicional, dado como transgressivo, é caracterizado por uma rampa carbonática dominada por maré e aflora em quase toda parte emergida da Bacia Potiguar (PESSOA NETO *et al.*, 2007).

No Campaniano final ocorreu um grande ciclo de sequências regressivas que se estendeu até o Holoceno, representando o registro estratigráfico da bacia. Esse grande ciclo regressivo pode ser dividido em sete sequências deposicionais que foram limitadas por eventos erosivos regionais. A maior parte dessas sequências estão preservadas na parte submersa da bacia, e os únicos registros aflorantes ocorrem em forma de depósitos de leques costeiros datados do Mioceno (PESSOA-NETO et al., 2007). No registro estratigráfico estão presentes leques costeiros, sistemas de plataformas rasas com borda carbonática e sistema de talude/bacia. Essas sequências estratigráficas têm seus correspondentes dessas sequências de rochas como as formações Barreiras, Tibau, Guamaré e Ubarana (PESSOA-NETO et al., 2007).

2.3 Contexto Geológico da Formação Açú

A Formação Açú foi definida por Kreidler & Andrery (1949) para designar os arenitos finos a grossos presentes na faixa aflorante da Bacia Potiguar. As litologias predominantes na unidade consistem em camadas mais espessas de arenito médio a muito grosso com cor esbranquiçada, além de intercalações com folhelhos, argilitos de cor verde clara e siltitos castanho-avermelhados (ANGELIM, 2006), refletindo os ambientes fluvial e estuarino, gradando para marinho raso (VASCONCELOS *et al.*, 1990).

No início da década de 1990, Vasconcelos et al. (1990) realizaram uma análise por meio de perfis elétricos e dividiram informalmente a Formação Açú em quatro subdivisões, das quais, apenas a 3 e a 4 afloram em superfície. Essas quatro unidades equivalem a pacotes de rochas que foram depositados como resposta a determinados eventos temporais de caráter regional na bacia. A unidade Açú-1 é representada por arenitos conglomeráticos e conglomerados associados a sistemas de leques aluviais e fluvial entrelaçado. A unidade Açú-2 inclui arenitos grossos e conglomeráticos que se modificam gradualmente para arenitos grossos a finos e siltitos no topo, caracterizando a passagem gradual de um sistema fluvial entrelaçado para um fluvial meandrante grosso a fino. A unidade Açú-3 representa a evolução de um sistema fluvial entrelaçado para um sistema meandrante grosso, mostrando uma nova atividade tectônica na bacia ou o rebaixamento do nível do mar. A unidade Açú-4, porção mais superior das subdivisões da Formação Açú, foi depositada em sistemas

litorâneos-estuarinos dominado por maré, compreende arenitos grossos a finos, siltitos, folhelhos e carbonatos (COSTA et al., 2014). Em Silva (1991) houve exploração da área a partir de uma análise sedimentológica macroscópica, reconhecendo diversas fácies sedimentares e assim, ocorreu a tentativa da definição do Membro Mossoró para a Unidade 4 da Formação Açu. Por não atender aos requisitos necessários para a definição de unidades litoestratigráficas, essa definição (Membro Mossoró) não será utilizada nesta Dissertação de Mestrado. Optamos, portanto, pelo uso do termo “Formação Açu – Unidade 4” para se referir ao pacote sedimentar trabalhado nesta Dissertação apenas.

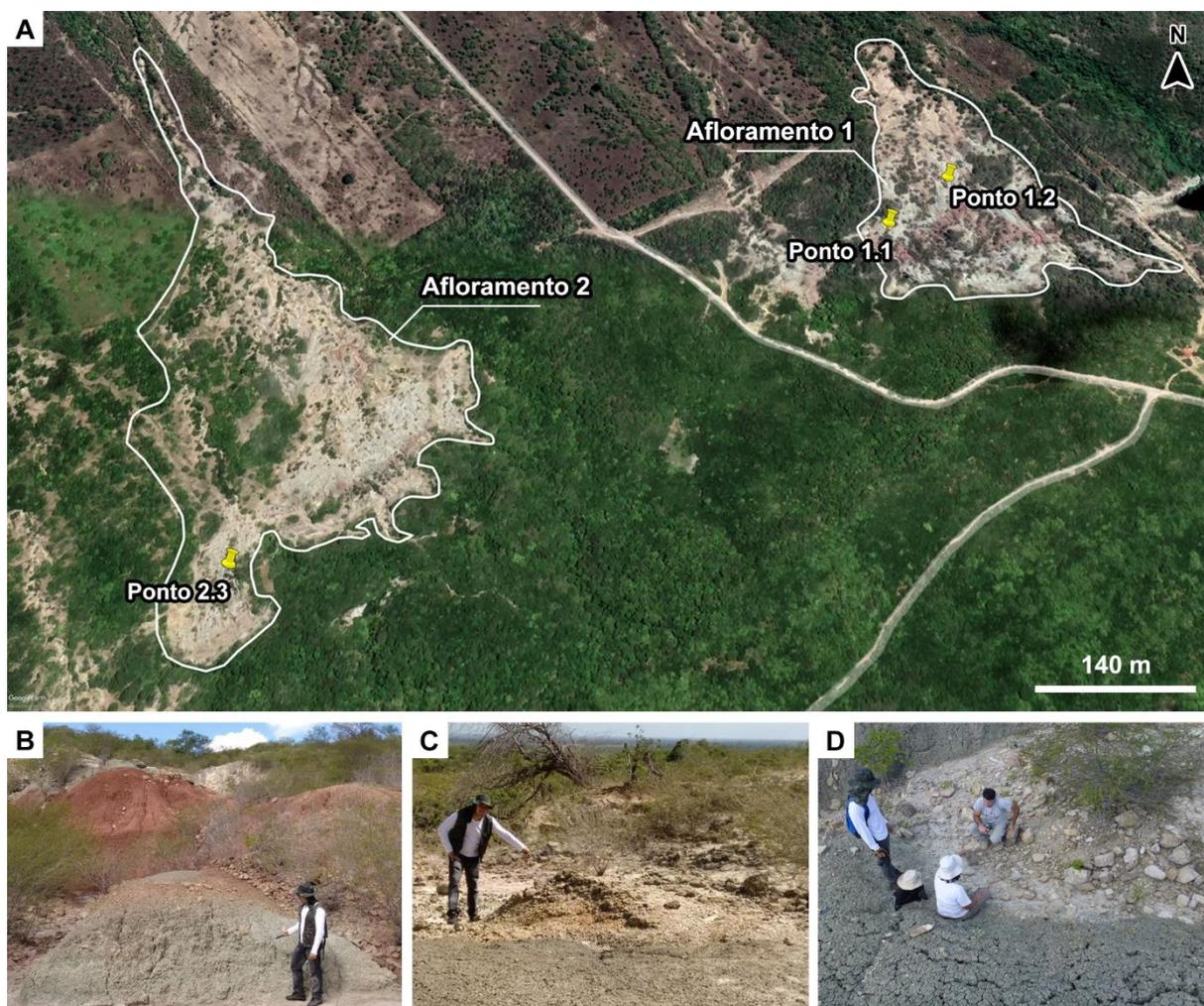
Inicialmente, a unidade Açu-4 foi determinada como Turoniano-Campaniano (Cretáceo Inicial) (VASCONCELOS et al., 1990), posteriormente foi datada como Albiano-Cenomaniano (início do Cretáceo Final) baseado em dados palinológicos (ARARIPE & FEIJÓ, 1994) e reforçado em Maraschin et al. (2010) a idade mínima de 120 milhões de anos, por meio de datação com feldspato. Em trabalhos mais recentes, Arai (2009; 2014) atribuiu à formação a idade albiana.

Os arenitos da unidade Açu-4 estão diretamente interdigitados e sotopostos às rochas carbonáticas da Formação Jandaíra, que afloram em quase toda bacia, e sobrepostos discordantemente à Formação Alagamar (Grupo Areia Branca) (ANGELIM, 2006).

2.4 Área de Estudo

A área estudada da Formação Açu consiste em duas regiões aflorantes no Estado do Ceará, denominadas operacionalmente como “Afloramento 1” e “Afloramento 2”. Dentro destas regiões, onze acumulações fossilíferas foram identificadas e denominadas informalmente como “Ponto 1.x” e “Ponto 2.x”, a depender do afloramento (Figura 6).

Figura 6 - Mapa aéreo dos afloramentos e pontos descobertos pela equipe do Laboratório de Macrofósseis/UFRJ.



Legenda: Vista aérea dos dois afloramentos estudados e pontos de coleta descobertos pela equipe do Laboratório de Macrofósseis/UFRJ. (A) mapa de afloramentos; (B) Ponto 1.1; (C) Ponto 1.2; (D) Ponto 2.3.

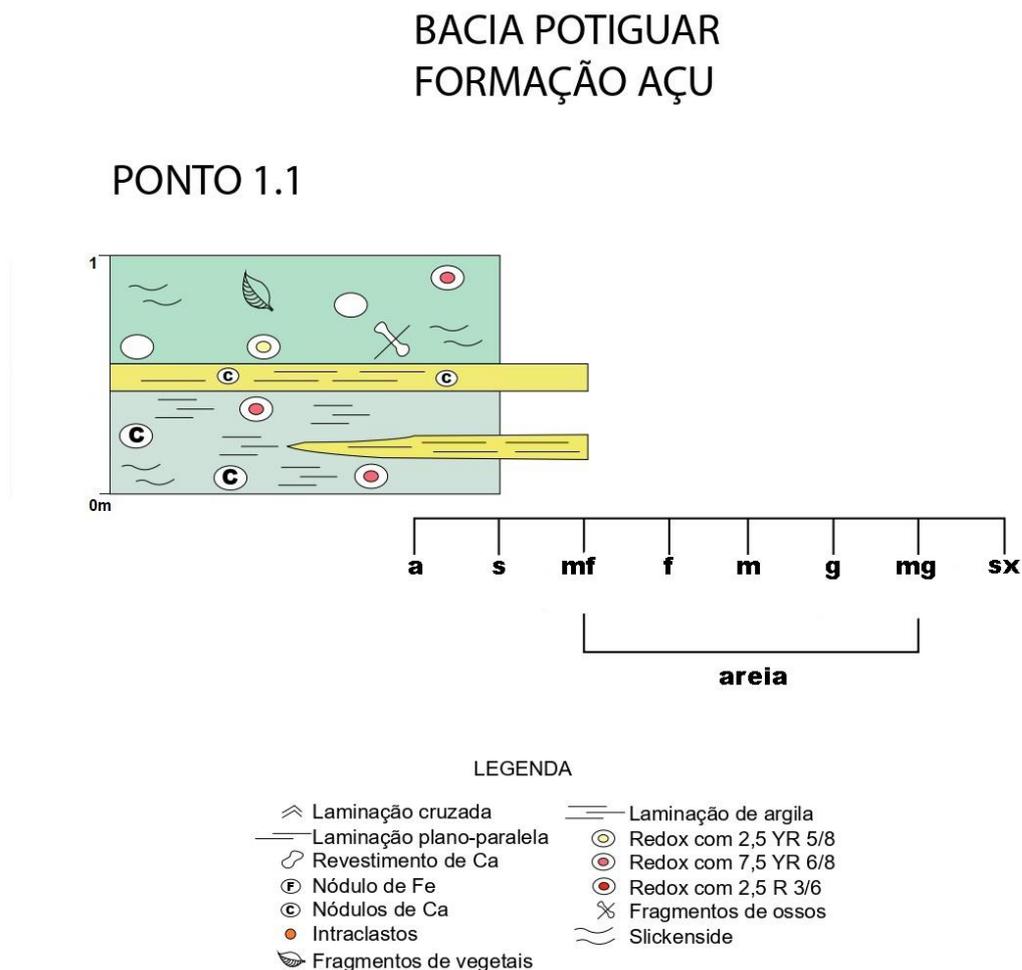
Fonte: Google Earth, 2022.

Nesta dissertação, serão tratadas as acumulações denominadas “Ponto 1.1” (Figura 6A), “Ponto 1.2” (Figura 6B) e “Ponto 2.3” (Figura 6C) (as respectivas coordenadas geográficas podem ser encontradas na Coleção do Museu de Geodiversidade da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, onde os materiais estão tombados). Estes pontos foram analisados quanto aos seus perfis estratigráficos em agosto de 2019, configurando o primeiro controle estratigráfico de coleta na localidade.

2.4.1 Ponto 1.1

O Ponto 1.1 (Figura 7), possui três camadas, mas somente a camada mais superior (da base para o topo) é fossilífera. Na camada 1, o lamito não possui estruturas sedimentares primárias, porém apresenta desenvolvimento pedogênico incipiente. Possui *slickensides* e fragmentos vegetais carbonificados, com mosqueamentos entre 20% e 30%. Possui espessura de 40 cm, com cor do sedimento 5G 5/1 (*cinza esverdeado*) e cor dos mosqueamentos 2,5YR 5/8 (*vermelho*) e 7,5 YR 6/8 (*amarelo avermelhado*) (MUNSELL, 1994). Neste nível, foram encontrados ossos de saurópode semi-articulados com elementos apendiculares. O contato da camada 1 com a camada 2 é abrupto e os nódulos de CaCO_3 são visíveis nas proximidades entre as camadas.

Figura 7 – Perfil estratigráfico do Ponto 1.1.



Fonte: elaborado por Maurício Nascimento Menezes.

A camada 2 possui arenito muito fino com laminações plano-paralelas incipientes, de espessura de 1mm. Há 50% da camada com mosqueamentos e nódulos de CaCO_3 macios de forma irregular que ocorrem por toda a camada. A espessura é de 8 cm e a camada apresenta coloração 5 GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*) e mosqueamentos de cor 2,5YR 5/8 (*vermelho*) e 7,5 YR 6/8 (*amarelo avermelhado*).

Por último, a camada 3 corresponde a um lamito laminado com espessura laminar de 1 mm. *Slickensides* e concentração de sais estão presentes. Nódulos brancos, duros, irregulares e carbonáticos ocupam até 3% da camada. Os mosqueamentos ocorrem de forma indiscriminada em 20% da camada, não respeitando as laminações. Em meio ao lamito ocorre uma lente lateralmente descontínua de arenito muito fino com laminação plano-paralela. A camada 3 possui espessura de 50 cm e coloração 5G 7/1 (*cinza esverdeado claro*). Seus mosqueamentos apresentam a coloração 2,5 YR 5/8 (*vermelho*).

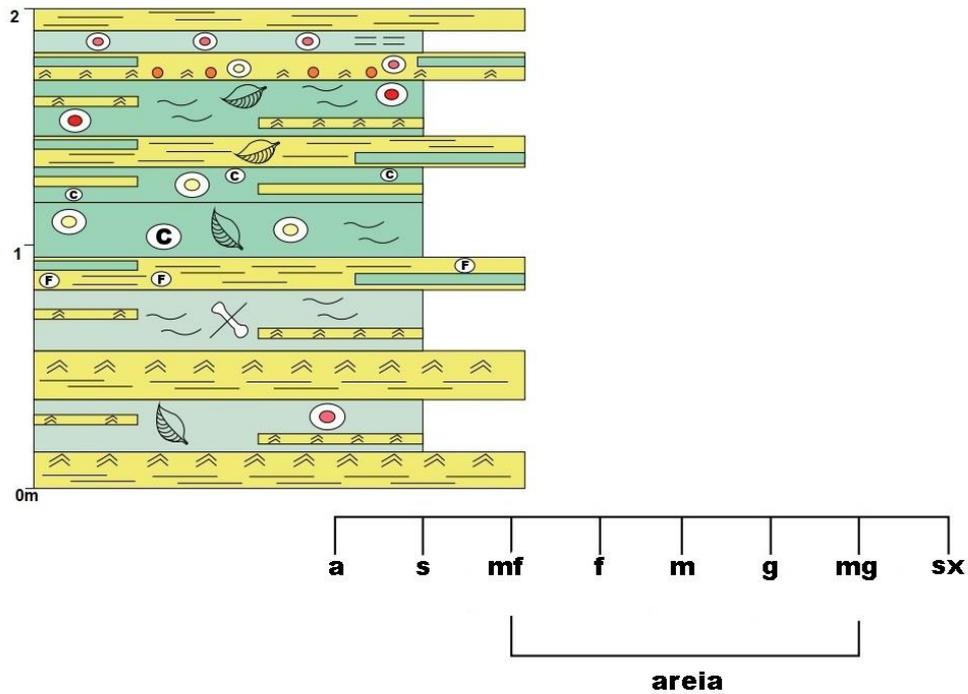
2.4.2 Ponto 1.2

Este ponto é onde foi identificada a maior quantidade de camadas, durante a coleta, mas somente uma de suas camadas há presença de fósseis de vertebrados (Figura 8). A base de sua primeira camada é constituída por arenito fino com laminações plano-paralelas e lamito descontínuo e pouco presente. Há um contato abrupto com a camada 2. Apresenta espessura de 15 cm e coloração 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*).

Figura 8 – Perfil estratigráfico do Ponto 1.2.

BACIA POTIGUAR FORMAÇÃO AÇU

PONTO 1.2



LEGENDA

⋈ Laminação cruzada	≡ Laminação de argila
— Laminação plano-paralela	⊙ Redox com 2,5 YR 5/8
⊕ Revestimento de Ca	⊙ Redox com 7,5 YR 6/8
Ⓢ Nódulo de Fe	⊙ Redox com 2,5 R 3/6
Ⓢ Nódulos de Ca	⊗ Fragmentos de ossos
● Intraclastos	~ Slickenside
🌿 Fragmentos de vegetais	

Fonte: elaborado por Maurícus Nascimento Menezes.

A camada 2 é composta por arenitos com cor do sedimento 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*) e os lamitos por cor de sedimento 5G 5/1 (*cinza esverdeado*), numa espessura de 25 cm. É uma camada heterolítica com predominância de lamitos, que formam estratos contínuos, ao contrário dos arenitos, que formam descontínuos de 1,5 cm de espessura. Os lamitos não apresentam estruturas sedimentares, enquanto os arenitos apresentam, às vezes, laminações cruzadas. Estão presentes nesse estrato fragmentos vegetais e mais de 50% recobertos por mosqueamentos (cor 2,5YR 3/6, *vermelho escuro*). Possui contato abrupto com a camada 3.

A camada 3 é composta por arenitos com laminação cruzada e plano paralelas seguidos de lamitos entre as laminações. Cada laminação apresenta uma média de 1mm de espessura. Possui espessura 18 cm e cor do sedimento 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*). Há contato abrupto com a camada 4.

Composta por arenitos e lamitos, a camada 4 tem sedimento de coloração 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*) e 5G 5/1 (*cinza esverdeado*), respectivamente. Camada heterolítica com predominância de lamitos e material vegetal carbonificado. Estruturas de contração de argilominerais como *slickensides* são comuns no estrato. Nesta camada foram coletados ossos de dinossauro. O contato com a camada 5 é abrupto.

A camada 5 é uma camada heterolítica com predominância de arenito com laminação plano-paralela. A espessura das laminações é de 1 mm. Observa-se a presença de nódulos de ferro irregulares, duros e de tamanho maior ou igual a 1,5 cm. A espessura da camada é de 10 cm e a cor do sedimento é 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*) (arenito) e 5G 5/1 (*cinza esverdeado*) (lamito). O contato com a camada 6 é abrupto.

A camada 6 corresponde a um lamito maciço com predominância de fragmentos vegetais carbonificados. *Slickensides* e concentrações pontuais de CaCO_3 também são característicos desta camada. Apresenta espessura de 20 cm e possui cor 5G 5/1 (*cinza esverdeado*) . Os mosqueamentos compõem 30% do estrato e possuem coloração 7,5 YR 6/8 (*amarelo avermelhado*). O contato com a camada 7 é abrupto.

A camada 7 é uma camada heterolítica com predominância de lamito e concentrações de localizada de CaCO_3 com tamanhos de 5 mm e levemente fervescente. Possui 14 cm de espessura e cor do sedimento 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*) (arenito) e 5G 5/1 (*cinza esverdeado*) (lamito). Possui mosqueamentos, os quais apresentam coloração 7,5 YR 6/8 (*amarelo avermelhado*). O contato com a camada 8 é abrupto.

A camada 8 é uma camada heterolítica com predominância de arenito fino com laminação plano-paralela e fragmentos vegetais carbonificados dispersos. Possui espessura de 12 cm e cor do sedimento 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*) (arenito) e 5G 5/1 (*cinza esverdeado*) (lamito). Há um contato abrupto com a camada 9.

Logo em sequência temos a camada 9. Consiste em uma camada heterolítica com predominância de lamito. Os arenitos formam camadas com 5 mm de espessura e apresentam laminações cruzadas. Os mosqueamentos compõem 30% do estrato. É possível observar *slickensides* nas porções em que ocorrem os lamitos. Além disso, fragmentos vegetais com cutículas preservadas também foram observados nos lamitos. Possui espessura de 20 cm e cor do sedimento 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*) (arenito) e 5G 5/1 (*cinza esverdeado*) (lamito). Observa-se mosqueamentos, os quais possuem coloração 2,5YR 3/6 (*vermelho escuro*). Há contato abrupto com a camada 10.

Na camada 10, a base da camada é de um arenito muito fino com intraclastos lamíticos, laminações cruzadas com espessura de 2 mm e lâminas de lamito com mais de 1 mm. O topo da camada apresenta comportamento inverso, com predominância de lamitos e ausência de estruturas sedimentares. Os mosqueamentos estão presentes em 30 a 40% da camada e com revestimentos de manganês. A espessura da camada é de 10 cm, cor do sedimento 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*) (arenito) e 5G 5/1 (*cinza esverdeado*) (lamito) e cor dos mosqueamentos 2,5 YR 5/8 (*vermelho*) e 7,5 YR 6/8 (*amarelo avermelhado*), sendo uma camada heterolítica. O contato é gradacional com a camada 11.

A camada 11 possui lamito laminado, com espessura das lâminas de 1 mm e mosqueamentos em 40% do estrato com revestimento de manganês. Possui 6 cm de espessura, com cor do sedimento 5G 5/1 (*cinza esverdeado*) e cor dos mosqueamentos 2,5YR 5/8 (*vermelho*). Há contato abrupto com a camada 12.

Por último, a camada 12 possui um arenito muito fino com laminação plano-paralela e as lâminas têm até 1 mm de espessura. Essa camada contém 5 cm de espessura e cor do sedimento 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*).

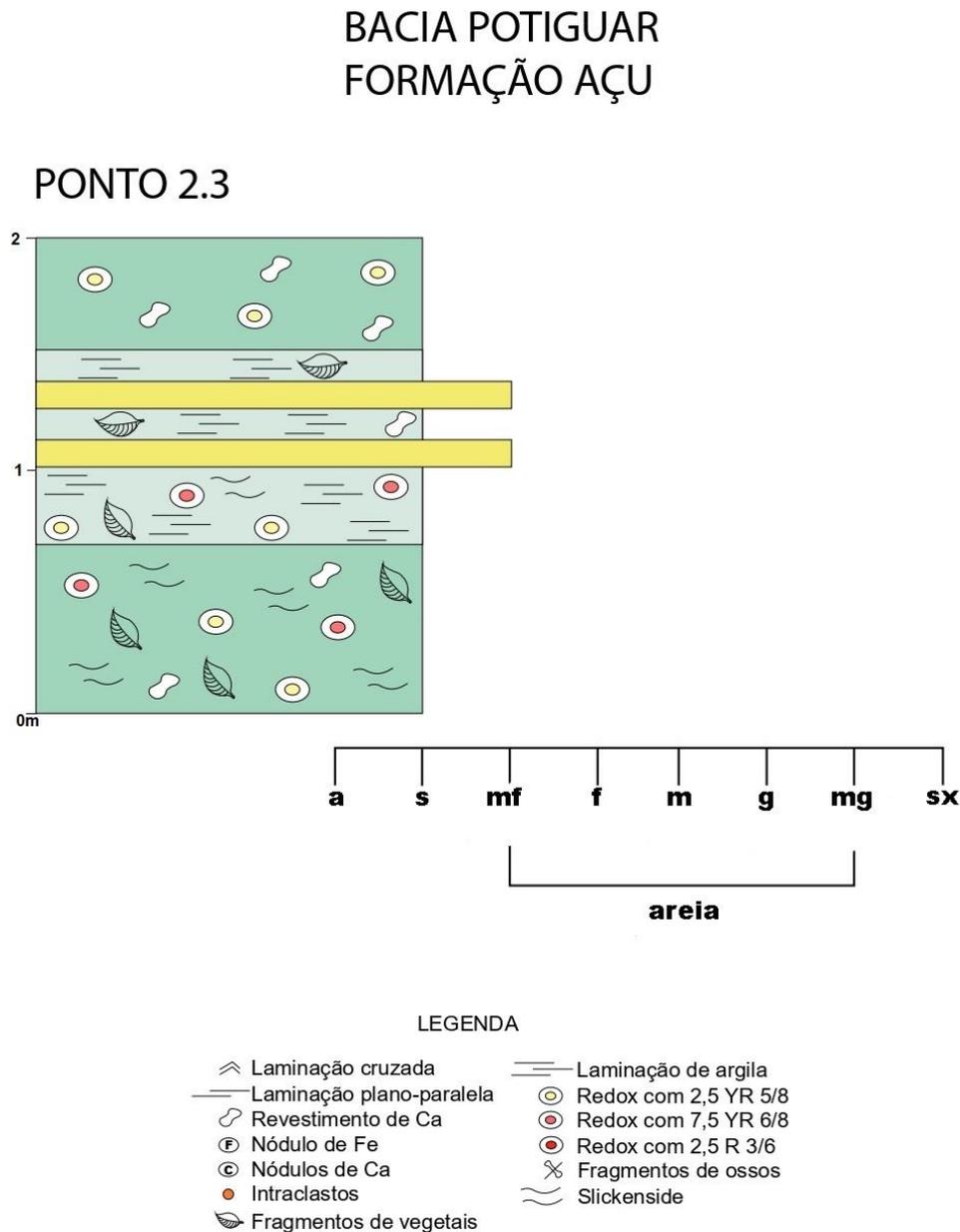
2.4.3 Ponto 2.3

O afloramento do Ponto 2.3 (Figura 9) possui sete camadas com diferentes espessuras e composições. Não é possível identificar em qual camada as vértebras foram soterradas, pois estas estavam roladas quando foram coletadas.

A camada 1 é um lamito com 20 a 30% de mosqueamentos, possui *slickensides*, concentrações localizadas de sais (gipsita ou anidrita) e fragmentos

vegetais carbonificados e com cutículas preservadas. Possui espessura de 60 cm, com cor do sedimento 5G 5/1 (*cinza esverdeado*), e cor de mosqueamento 2,5 YR 5/8 (*vermelho*) e 7,5 YR 6/8 (*amarelo avermelhado*). Possui contato gradual com a camada 2.

Figura 9 – Perfil estratigráfico do Ponto 2.3.



Fonte: elaborado por Maurício Nascimento Menezes.

Já a camada 2, é um lamito finamente laminado e mosqueamentos em 50% da camada. As lâminas apresentam espessura de 1 mm. Fraturas oblíquas e subverticais

estão presentes devido à movimentação dos minerais de argila. Fragmentos vegetais carbonificados ocorrem em menores quantidades e localizados em pontos específicos da camada. Possui espessura de 35 cm, cor do sedimento em 5G 7/1 (*cinza esverdeado claro*) e cor do mosqueamento 2,5 YR 5/8 (*vermelho*) e 7,5 YR 6/8 (*amarelo avermelhado*). Possui contato abrupto com a camada 3.

A camada 3 é um arenito muito fino, ausente de estruturas sedimentares. Possui espessura de 10 cm e cor do sedimento 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*).

A camada 4 consiste em um lamito finamente laminado, ausente de mosqueamentos e fragmentos vegetais. Concentrações de sais estão localmente presentes. A espessura é de 5 cm e cor do sedimento 5G 7/1 (*cinza esverdeado claro*). O contato é abrupto com a camada 5.

A camada 5 é composta por um arenito muito fino, ausente de estruturas sedimentares. Fragmentos vegetais e sais estão localmente concentrados. Mede 10 cm de espessura, e possui cor 5GY 8/1 (*cinza esverdeado claro*). Apresenta contato abrupto com a camada 6.

A camada 6 corresponde a um lamito finamente laminado, sem feições de mosqueamentos e fragmentos vegetais. A espessura fica em 7 cm e sua cor 5G 7/1 (*cinza esverdeado claro*). Possui contato gradual com a camada 7.

Finalmente, a camada 7 é composta por um lamito, o qual possui concentrações salinas e mosqueamentos em 10% da camada. A sua espessura mede 50 cm, com cor do sedimento 5G 5/1 (*cinza esverdeado*) e cor do mosqueamento 7,5 YR 6/8 (*amarelo avermelhado*).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O material consiste em 176 espécimes de vertebrados coletados entre os anos de 2015 e 2019 em afloramentos da Unidade 4 da Formação Açú – 22 espécimes pertencentes ao ponto 1.1; 22 no ponto 1.2; e 132 no ponto 2.3. A maior parte dos espécimes é composta por vértebra e ossos longos. Os fósseis estão tombados na Coleção de Paleontologia do Departamento de Geologia (DEGEO), Instituto de Geociências (IGEO), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (Anexo 1).

A coleta dos dados tafonômicos seguiu os métodos sugeridos por Behrensmeyer (1991), Pirrone *et al.* (2014), Rogers *et al.* (2007), Shipman (1981a), Lyman (1994), Simões *et al.* (2010), Fernández-Jalvo & Andrews (2016) e Araújo-Júnior & Bissaro-Júnior (2017), os quais têm sido bastante utilizados em estudos tafonômicos recentes.

3.1 Análises macroscópicas

As análises macroscópicas foram feitas a olho e para medir o tamanho dos fósseis, foi utilizado uma escala.

As feições macroscópicas avaliadas foram: (A) articulação e fragmentação; (B) representatividade óssea; (C) equivalência hidráulica; (D) padrões de quebra; (E) marcas de intemperismo; (F) abrasão; (G) marcas de pisoteio; (H) bioerosão causada por invertebrados; (I) marcas de raízes; (J) padrões de coloração.

3.1.1 Articulação e Fragmentação

O grau de articulação geralmente varia de acordo com o tempo de exposição de um resto orgânico antes do soterramento. Um corpo fossilizado articulado pode indicar soterramento rápido e/ou ambiente de baixa energia. A depender do clima e do tempo de fossilização, pode haver a decomposição mais lenta de organismos, ou seja, o tempo em que microorganismos agem sobre uma carcaça (BEHRENSMEYER,

1991; LYMAN, 1994). Para esse item, os fósseis foram avaliados entre articulados, associados ou desarticulados.

Os fósseis foram classificados com relação à sua integridade física em completos, parciais e fragmentados. Os ossos completos possuem mais de 95% da estrutura original; os parcialmente completos variam entre 50 e 95%; e aos espécimes fragmentados, com menos de 50% da estrutura óssea (ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2013a). Neste trabalho não foram analisados os estágios ontogenéticos devido à falta de maiores informações taxonômicas sobre os espécimes.

3.1.2 Representatividade óssea

A representatividade óssea diz respeito à quantificação de elementos esqueléticos em uma acumulação fossilífera, o que tem relação com o rápido ou lento grau de soterramento de uma tanatocenose (SHIPMAN, 1981a). Tem importante papel no reconhecimento desses processos tafonômicos, como identificar padrões de restos de acumulação dos vertebrados fósseis produzido por agentes físicos e biológicos (BEHRENSMEYER, 1991; LYMAN, 1994; ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2012) e chegando até mesmo a interpretações paleoambientais (BRITT *et al.*, 2009). Além disso, a partir desses dados, é possível contabilizar uma média de número de indivíduos presentes nos pontos analisados (LYMAN, 1994).

3.1.3 Equivalência hidráulica

As correntes de água transportam elementos mais leves ou menores, (e.g., vértebras, costelas e ossos menores dos membros) em taxas mais rápidas do que ossos maiores de membros, partes cranianas e dentes (BEHRENSMEYER, 1975). Tendo isso em vista, Behrensmeyer, (1975) propôs a análise de equivalência hidráulica através da associação entre o tamanho dos ossos que corresponde ao tamanho de grãos de quartzo (Tabela 1), mostrando se há, ou não, relação de transporte por processos fluviais (aluviais). Essa análise identifica a associação “osso-sedimento”, para reconhecer se houve uma mortandade “*in-situ*”.

Tabela 1: Valores de equivalência hidráulica entre elementos esqueléticos e grãos de quartzo proposta por Behrensmeier (1975).

Elementos esqueléticos	Diâmetro do grão de quartzo equivalente (mm)
Centro vertebral	4,4
Falange	3,7
Patela	3,0
Calcâneo	4,8
Escápula	10,5
Metapodial	8,2
Tíbia	6,8
Astrágalo	9,4
Costela	4,0

Fonte: BEHRENSMEYER, (1975). Retirado de Araújo-Júnior, (2012).

3.1.4 Transportabilidade óssea

Neste trabalho, utilizou-se para os grupos de Dinosauria os valores de FTI (*Fluvial Transport Index*) dos grupos de Frison & Todd (1986) que, segundo Araújo-Júnior, (2012), são os mais adequados para animais de grande porte (Tabela 3). Já para os quelônios, utilizou-se o Grupo de Voorhies (1969), que foram estabelecidos a partir de testes atualísticos realizados com animais de médio porte (Tabela 2). Os grupos e valores são: (a) Grupo I: quando o valor de FTI for igual ou maior que 75 (sacro, patela, astrágalo, calcâneo e vértebra); (b) Grupo II: quando o valor de FTI é menor que 75 e maior que 50 (costela, escápula, úmero, tíbia e metacarpo); e (c) Grupo III: quando o valor de FTI for menor ou igual a 50 (atlas, mandíbula, pélvis, rádio-ulna e fêmur). Considerando que quanto mais próximo de 100 for o valor de FTI, mais transportável é o elemento esquelético. É possível, então, analisar um conjunto fóssilífero no que diz respeito à sua transportabilidade por correntes hídricas com base nesses valores.

Tabela 2: Grupos de transportabilidade de vertebrados de médio porte.

Grupo I	I e II	Grupo II	II e III	Grupo III
Costela	Escápula	Fêmur	Ramo mandibular	Crânio
Vértebra	Falange	Tíbia		Mandíbula
Sacro	Ulna	Úmero		
Esterno		Metapodial		
		Pélvis		
		Rádio		

Fonte: VOORHIES (1969); BEHRENSMEYER (1975); ARAÚJO-JÚNIOR *et al.* (2012) e SILVA (2019).

Tabela 3: Valores de FTI estabelecidos por Frison & Todd (1986) para elementos esqueléticos de *Elephas maximus*.

Elemento esquelético	Valor de FTI
Mandíbula	34,56
Atlas	41,97
Vértebra cervical	96,64
Vértebra torácica	76,43
Vértebra lombar	76,21
Vértebra caudal	92,43
Sacro	80,11
Costela	53,98
Escápula	62,95
Úmero	57,77
Rádio-ulna	49,95
Metacarpal	86,83
Pélvis	0,00
Patela	90,19
Tíbia	72,84
Fíbula	60,119
Astrágalo	96,83
Calcâneo	100,00

Fonte: retirado de ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, (2012).

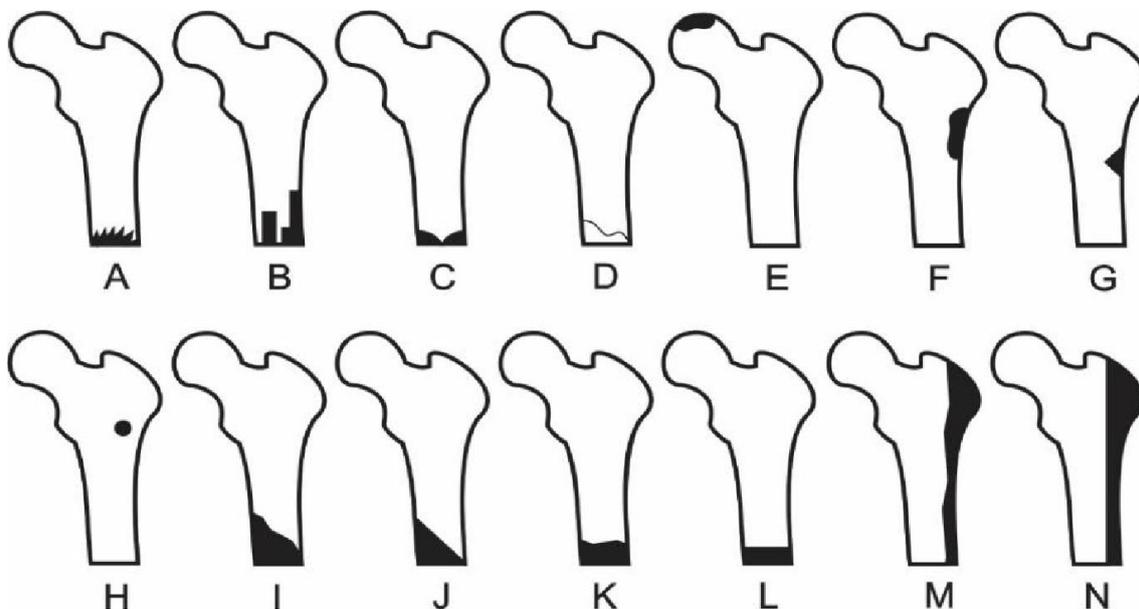
Para uma reconstituição da conjunto fossilífero, os termos como “autóctone”, alóctone” e “parautóctone” de Behersmeyer & Hook (1992) foram utilizados nesse trabalho: autóctone é conhecido como uma acumulação fossilífera onde não houve

transporte; alóctone se refere a uma acumulação fossilífera que foi realocada do seu ponto original de morte e do seu habitat de vida; parautóctone é utilizado para uma acumulação fossilífera que foi transportada do local de morte ou descarte mas continua no dentro de seu habitat original.

3.1.5 Padrões de quebra

Fraturas ósseas podem ocorrer em qualquer parte do osso e apresentar diferentes morfologias de acordo com o estágio tafonômico (i.e., pré ou pós-fossilização) durante o qual foram originadas: fraturas *ante-mortem* ocorrem com o animal ainda vivo apresenta sinais de cicatrização; fraturas *post-mortem*, em geral, não possuem sinais de cicatrização e o padrão de quebra mostra-se mais irregular (como degraus), podendo ainda apresentar-se esfareladas e com depressões resultantes de mastigação por predadores carniceiros; fraturas pós-fossilização ocorrem em ossos mais frágeis, e mostram tendência de quebra perpendicular ao eixo maior (SHIPMAN, 1981a). As fraturas encontradas nos restos estudados serão analisadas seguindo a classificação proposta para Shipman (1981a), válida somente para ossos longos, com o intuito de diferenciar fraturas biostratinômicas das fossildiagnéticas mostrando fatores como tempo de exposição subárea, ação de predadores ou até mesmo cicatrização óssea.

Figura 10: Padrões de quebra para ossos longos.



Legenda: A) Serrilhada; B) Colunar; C) Abatimento; D) Descamação; E) Articular; F) Aparagem; G) Em forma de "V"; H) Perfuração; I) Irregular e espiralada; J) Regular e espiralada; K) Irregular e perpendicular; L) Regular e perpendicular; M) Irregular e paralela; e N) Regular e paralela. As orientações espiralada, perpendicular e paralela são em relação ao maior eixo do osso longo.

Fonte: Retirado de Silva, 2018.

3.1.6 Marcas de intemperismo

O tempo de exposição dos ossos antes de serem soterrados será avaliado através da análise do intemperismo, que age no elemento esquelético deixando marcas de ressecamento à medida em que ele se encontra exposto no ambiente. Esse processo se encerra com o soterramento. Ambientes áridos são responsáveis por acelerar o intemperismo devido a sua maior incidência solar e baixa umidade (SHIPMAN, 1981a).

Behrensmeyer (1978) propôs seis diferentes estágios de intemperismo:

I. Estágio 0 — A superfície óssea não mostra sinais de rachaduras ou descamação devido ao desgaste. Normalmente o osso ainda está oleoso, as cavidades medulares contêm tecido, a pele e os músculos/ligamentos podem cobrir parte ou toda a superfície óssea;

II. Estágio 1 – O osso mostra fissuras, normalmente paralelas à estrutura da fibra (por exemplo, longitudinal em ossos longos). As superfícies

articulares podem apresentar rachaduras em mosaico do tecido de cobertura, bem como no próprio osso. Gordura, pele e outros tecidos podem ou não estar presentes;

III. Estágio 2 — Camadas finas concêntricas externas de osso mostram descamação, geralmente associada a rachaduras, em que as bordas do osso ao longo das rachaduras tendem a se separar e descamar primeiro. Flocos longos e finos, com um ou mais lados ainda presos ao osso, são comuns na parte inicial do estágio 2. Segue-se uma descamação mais profunda e extensa, até que a maior parte do osso externo tenha desaparecido. As bordas das rachaduras são geralmente angulosas na seção transversal. Restos de ligamentos, cartilagem e pele podem estar presentes;

IV. Estágio 3 — A superfície óssea é caracterizada por manchas de osso compacto áspero e homogeneamente desgastado, resultando em uma textura fibrosa. Nessas manchas, todo o osso externo em camadas concêntricas foi removido. Gradualmente, as manchas se estendem para cobrir toda a superfície óssea. O intemperismo não penetra mais profundamente do que 1,0-1,5 mm neste estágio, e as fibras ósseas ainda estão firmemente ligadas umas às outras. As bordas das rachaduras geralmente são arredondadas na seção transversal. Tecidos moles raramente presentes nesta fase;

V. Estágio 4 — A superfície do osso é grosseiramente fibrosa e de textura áspera; estilhaços grandes e pequenos ocorrem e podem ser soltos o suficiente para cair do osso quando ele é movido. O intemperismo penetra nas cavidades internas. As rachaduras são abertas e têm bordas lascadas ou arredondadas;

VI. Estágio 5 — O osso desintegra-se *in situ*, com grandes lascas espalhadas ao redor do que resta do todo, que é frágil e facilmente quebrado ao se mover. A forma original do osso pode ser difícil de determinar. O osso esponjoso geralmente fica exposto, quando presente, e pode durar mais do que todos os traços das partes externas mais compactas dos ossos.

Tabela 4: Estágios de desgaste relacionados ao número de anos desde a morte.

Estágios de intemperismo	Possível intervalo em anos desde a morte
0	0-1
1	0-3
2	2-6
3	4-15 +
4	6-15 +
5	6-15 +

Fonte: BEHRENSMEYER (1978).

3.1.7 Abrasão

A abrasão se dá a partir da fricção produzida pela colisão de restos orgânicos com outras partículas durante o transporte hidráulico ou eólico (SHIPMAN, 1981a). O grau de abrasão pode variar dependendo do sedimento onde o fóssil se encontra, de processos orgânicos ou inorgânicos, bioturbação ou necrofagia (FERNANDEZ-JALVO, 2016), e é um bom indicador de energia do ambiente (SIMÕES et al, 2010). Para cada estágio de desgaste no fóssil, há um diferente grau de abrasão atribuído e, conseqüentemente, um diferente grau de arredondamento. Para a análise, foi indicado o grau de arredondamento como forma de mostrar o estágio abrasivo.

Tabela 5: Graus de abrasão em superfície óssea e graus de desgaste.

Estágios de abrasão*	Grau de abrasão	Grau de desgaste
0	Sem abrasão	Sem modificação
1	Pouco desgaste	Leve
2	Desgaste moderado	Moderado
3	Muito desgaste	Grande
4	Completamente desgastado	Extremo

Nota: * Correspondência numérica dos graus de abrasão.

Fonte: da Silva, 2018.

3.1.8 Marcas de pisoteio

Ocorrem em assembleias com vertebrados terrestres, ocasionados por agentes biológicos (outros vertebrados), podendo causar arranhões ou fragmentação (LYMAN, 1994). Ocorrem geralmente em ossos longos e com múltiplas orientações, sugerindo um movimento longo e repetitivo (BRITT et al., 2009). Podem ter marcas em formato de “V”, pequenos arranhões rasos ou profundas fraturas (FIORILLO, 1988). Essas marcas biogênicas podem indicar traços importantes do paleoambiente e sua fauna (LYMAN, 1994).

3.1.9 Marcas de dentes

Marcas lineares com seção transversal em forma de “U” são comumente produzidas por dentes, durante a mastigação de animais e, diferentemente de marcas de pisoteio e arranhões, possuem certa orientação perpendicular ao eixo maior dos ossos e nas superfícies articulares (ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2017a), e costumam ser mais abrasivas, uma vez que as arestas de corte são menos afiadas do que as das ferramentas de pedra (FERNANDEZ-JALVO, 2016). Essas marcas são importantes na elaboração de inferências acerca da presença de carnívoros, assim como interpretação da relação entre a presa e o predador, podendo, dentre outras coisas, registrar a presença de animais que não estão presentes em forma de restos fósseis. Além disso, essa análise também é importante para diferenciar marcas realizadas durante a coleta e/ou o preparo, pois, marcas pós-fossilização possuem coloração diferente de uma área afetada na superfície do fóssil (ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2011).

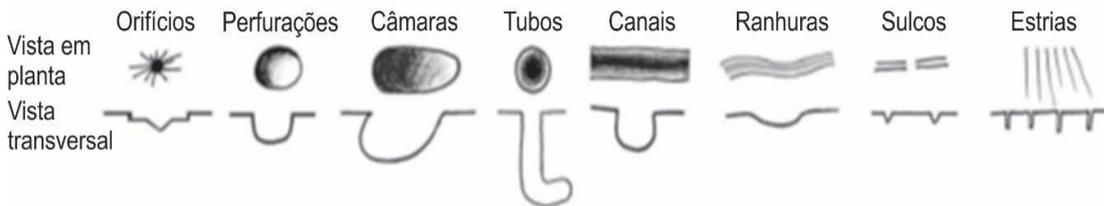
3.1.10 Bioerosão causada por invertebrados

A bioerosão é definida como toda forma de penetração biológica em substratos duros (NEUMANN, 1966). Após estudos mais recentes percebeu-se que marcas poderiam ser deixadas pela atividade de organismos vivos em substratos moles também (ROGERS et al., 2003). O resultado da atividade de necrófagos – ou seja, comportamentos diversos deixam diferentes tipos de icnitos em substratos – pode ajudar a interpretar paleoambientes (ROGERS et al., 2003; ROBERTS *et al.*, 2007;

BRITT *et al.*, 2008; XING *et al.*, 2013; MIKULAS *et al.*, 2013; PIRRONE *et al.*, 2014a; PIRRONE *et al.*, 2014b; PAES-NETO *et al.*, 2018). As definições adotadas seguem o trabalho de Pirrone *et al.* (2014).

Figura 11: Diagrama ilustrando os atributos mais comuns de icnotaxobases para fósseis de traços de bioerosão em ossos e sua terminologia.

MORFOLOGIA GERAL



BIOGLIFO		PREENCHIMENTO			
Em pares e opostos	Paralelos e arqueados	Preenchimento meniscado	Preenchimento peloidal	Presença de fragmentos ósseos	Seleção de:
					-Tamanho -Forma -Disposição de fragmentos ósseos

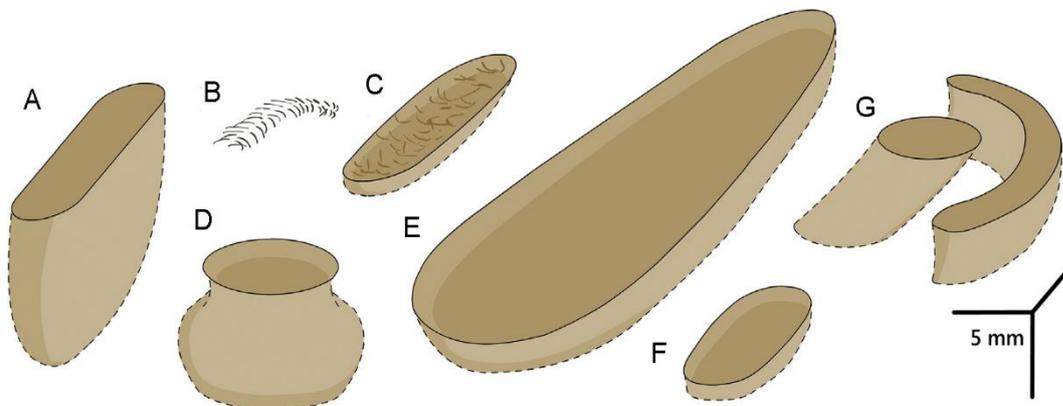
RAMIFICAÇÃO		LOCAL DE ACOMODAÇÃO	
No osso cortical	No osso esponjoso		
		-Osso cortical -Osso esponjoso -Microestruturas ósseas internas	

PADRÃO DE OCORRÊNCIA

Individuais	Agrupadas	Em pares	Alinhadas	Sobrepostas	Arqueadas

Fonte: PIRRONE *et al.*, 2014. Retirado de SILVA, 2019.

Figura 12: Desenho esquemático de icnotáxons atribuídos a invertebrados terrestres que ocorrem na superfície de ossos encontrados em depósitos continentais.



Legenda: Barra de escala = 5 mm. (A) *Asthenopodichnium ossibiontum* Thenius, (1988). (B) *Osteocallis mandibulus* Roberts et al., (2007). (C) *Cubiculum ornatus* Roberts et al., (2007). (D) *C. levis* Pirrone et al., (2014b.) (E) *C. inornatus* Xing et al., (2015). (F) *C. cooperi* Parkinson, (2016). (G) *Munitusichnus pascens* Parkinson, (2016).

Fonte: Modificado de PAES-NETO et al. (2016).

3.1.11 Marcas de raízes

Os rizólitos ou traços de raízes são evidências da atividade de organismos em um substrato. Apesar de ocorrerem, em maior parte, em paleossolos, podem ocorrer em madeira ou ossos que se mantiveram expostos na superfície (NASCIMENTO, 2020). Segundo Behrensmeyer (1991), as raízes podem causar sulcos e canais dendríticos nos ossos, antes e depois da mineralização, indicando ainda um soterramento lento.

3.1.12 Padrões de coloração

As cores diversas nos fósseis podem indicar aspectos paleoclimáticos e mistura temporal (ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2013a). Neste trabalho, foi adotada a Carta de Cores de Munsell (1994; 2009), para se estabelecer o padrão de coloração.

3.2 Análises microscópicas

Para as análises microscópicas foram confeccionadas 12 lâminas delgadas de fósseis de Dinosauria, dos três pontos analisados neste trabalho, para verificar o grau de micro-preservação e os processos envolvidos na fossilização. Alguns espécimes proporcionaram mais de um corte, por isso, as lâminas foram nomeadas como D (direita), C (central) e E (esquerda) do fóssil. As lâminas delgadas foram confeccionadas pelo Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA) da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FGEO/UERJ) e analisadas em microscópio petrográfico de refração em luz transmitida e polarizada, no Laboratório de Paleontologia da FGEL/UERJ. Em vista disso, as lâminas estão tombadas na Coleção de Paleontologia da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FGEO/UERJ). A tabela a seguir identifica a quantidade de lâminas para cada localidade.

Tabela 6: Número de lâminas descritas para cada localidade.

Localidade	Número de lâminas
Ponto 1.1	3
Ponto 1.2	5
Ponto 2.3	4

Fonte: A Autora, 2022.

3.2.1 Índice Histológico Geral

O índice varia de 0 a 5, baseado no percentual do osso original que é fossilizado. Esse índice, proposto por Hedges e Millard (1995), calcula o percentual dependendo da relevância para toda a lâmina ou de pontos específicos de diferentes seções (HOLLUND *et al.*, 2011).

Tabela 7 - Valores de Índice Histológico definidos para resumir o grau de modificação diagenética.

Índice	% aproximada de osso intacto	Descrição
0	<5	Não é possível identificar estruturas originais, a não ser os Canais de Harvers.
1	<15	Estão presentes pequenas áreas de osso bem preservado ou algumas estruturas lamelares entre padrões de destruição.
2	<33	Estruturas lamelares claramente presentes entre focos de destruição.
3	>67	Preservação clara de algumas lacunas de osteócitos.
4	>85	Somente pequenos focos de destruição presentes, no geral muito bem preservados
5	>95	Muito bem preservado, quase impossível de distinguir de osso fresco.

Fonte: Retirado e modificado de MARTINS, 2019. De MILLARD, 2001; HOLLUND et al., 2011.

3.2.2 Grau de Permineralização (G.P.)

Identifica-se a taxa de preenchimento dos poros dos restos de vertebrados por meio de porcentagens (CASSAB, 2010, HOLLUND et al., 2011). As seguintes faixas foram utilizadas: 10 a 20; 20 a 30; 30 a 40; 40 a 50; 50 a 60; 60 a 70; 70 a 80; 80 a 90 (MARTINS, 2019).

3.2.3 Grau de Substituição (G.S.)

É identificado a partir da observação da alteração da matriz óssea original nas lâminas e classificado por meio de porcentagens (CASSAB, 2010). As seguintes faixas foram utilizadas: 10 a 20; 20 a 30; 30 a 40; 40 a 50; 50 a 60; 60 a 70; 70 a 80; 80 a 90 (MARTINS, 2019).

3.2.4 Faturamento

É possível determinar a presença ou ausência de fraturas nas lâminas delgadas, padrões de fraturamento e o grau de fraturamento (BEHERSMeyer, 1975).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Artigo submetido para apreciação no periódico *Cretaceous Research*

(Qualis B1 da Capes)

Vertebrate taphonomy and ichnological aspects from the Aptian-Cenomanian Açú Formation, Potiguar Basin, Northeastern Brazil

Letícia Paiva Belfort^a, Hermínio Ismael de Araújo-Júnior^a, Lílian Paglarelli Bergqvist^b, Gustavo Prado Martins^a, Fernando Henrique de Souza Barbosa^a, Kleberon de Oliveira Porpino^c

^aDepartamento de Estratigrafia e Paleontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

^bLaboratório de Macrofósseis, Departamento de Geologia/UFRJ, Av. Athos da Silveira Ramos 274, CCMN, 21941-611, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

^cDepartamento de Ciências Biológicas, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, 59610-090, Mossoró, RN, Brazil.

ABSTRACT

Since the 19th century, the Potiguar Basin has been recognised for its outcrops of the Jandaira Formation, but little was known about the other formations. Researchers have collected fossils of large vertebrates, identified as dinosaurs, associated with fish and other crocoliforms during recent research at operational unit 4 of the Açú Formation. As a result, the focus of this research is to describe and interpret taphonomic signatures macro and microscopically of certain particular places in the outcrop area for the first time. There are 142 specimens in the study, the majority of which are vertebrae and long bones. The fossils are housed at the Paleontology Collection of the Department of Geology (DEGEO), Institute of Geosciences (IGEO), Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). Point 1.1, Point 1.2, and Point 2.3 were used as collection points. The following macroscopical features were analyzed: (A) articulation and fragmentation; (B) bone representativeness; (C) hydraulic equivalence; (D) breakage patterns; (E) weathering marks; (F) abrasion; (G) trampling marks; (H) bioerosion produced by invertebrates; (I) root marks; and (J) staining patterns. The following microscopical features were analyzed: (A) histological index; (B) filling rate; (C) replacement rate; (D) fracturing. All of the specimens were dismembered. FTI transportability study revealed a peripheral assemblage due to the prevalence of Group I (53.45% of the fossil), 50% of vertebrae. In terms of abrasion, 34% present slight abrasion and 32% present moderate abrasion, indicating moderate transport. About 40% of the samples show degree 2 of weathering, suggesting moderate subaerial exposure. The presence of bioerosion by insects as well as tooth marks confirms subaerial exposure. There are fossils with root marks, indicating that the burial site was vegetated. The petrographic thin sections revealed significant rates of carbonate and oxide replacement, as well as the filling of osteons, and also high rates of fracturing due to physical weathering produced by drying. Taken together, biostratigraphic and fossil diagenetic data suggest a humid environment with periods of low rainfall.

Keywords: Taphonomy, Ichnology, Dinosauria, Cretaceous, Brazil.

*Corresponding author:

leticia.paivabelfort@hotmail.com; Laboratório de Paleontologia, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rua São Francisco Xavier, 524 – Maracanã, Rio de Janeiro, Brazil.

1. Introduction

Taphonomic studies are essential to understanding the occurrence of organic remains and trace fossils preserved in the sedimentary record, as well as an insightful way off interpreting the transformations that acted on a biocenosis, changing it into taphocoenosis (BEHERNSMEYER *et al.*, 1978, 1991; KIDWELL & FLESSA, 1996; ROGERS *et al.*, 2007; FERNÁNDEZ-JALVO & ANDREWS, 2016). These studies have shed light into the pre-burial conditions and the overall context of several Brazilian fossiliferous units in the last two decades (e.g., CARVALHO, 2004; ARAÚJO & PORPINO, 2011; GHILARDI, 2011; ARAÚJO-JÚNIOR ET AL., 2013; ARAÚJO-JÚNIOR, 2015; MARTINS ET AL., 2018; SEDORKO ET AL., 2018; TRIFILIO ET AL., 2022). The Cretaceous vertebrate fossil record of the Potiguar Basin, however, has not been studied in this regard so far.

Recently, some studies on the paleofauna of the Açú Formation (?Aptian-Cenomanian) have shown the existence of at least eight taxa of Dinosauria (PEREIRA, 2018; PEREIRA *et al.*, 2020a; 2020b), eight "fish" taxa (VEIGA *et al.*, 2019) and one taxon of Crocodyliformes; RIBEIRO *et al.*, 2021). Additionally, undetermined remains of testudines and dinosaur tracks have been described for the unit (LEONARDI *et al.*, 2021). The reconstructed fauna is similar to the Alcântara Formation (São Luís Basin), as well as those from North African lithostratigraphic units, in special the Kem Kem Formation (PEREIRA, 2018; VEIGA *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2021). Although well-documented, the depositional history of this fascinating fauna is yet unknown.

Here we look into taphonomic, sedimentological and stratigraphic data from the Açú Formation in order to infer the description and interpretation of the taphonomic signatures in fossil remains collected in outcrops of the uppermost layer of the Açú Formation, Potiguar Basin, bringing different depositional and preservational aspects of vertebrates in this lithostratigraphic unit, as

well as the improvement of paleoenvironmental aspects related to the moment of deposition of the Açu Formation.

2. Geological Background

2.1 Regional Geology of the Potiguar Basin

The Potiguar Basin is located in the northeastern part of the Brazilian Equatorial Margin, cropping out on Rio Grande do Norte and Ceará states (Figure 1A). It has an estimated total area ranging from 48,000 km² to 60,000 km² according to different studies (ANGELIM et al., 2006; PESSOA NETO et al., 2007).

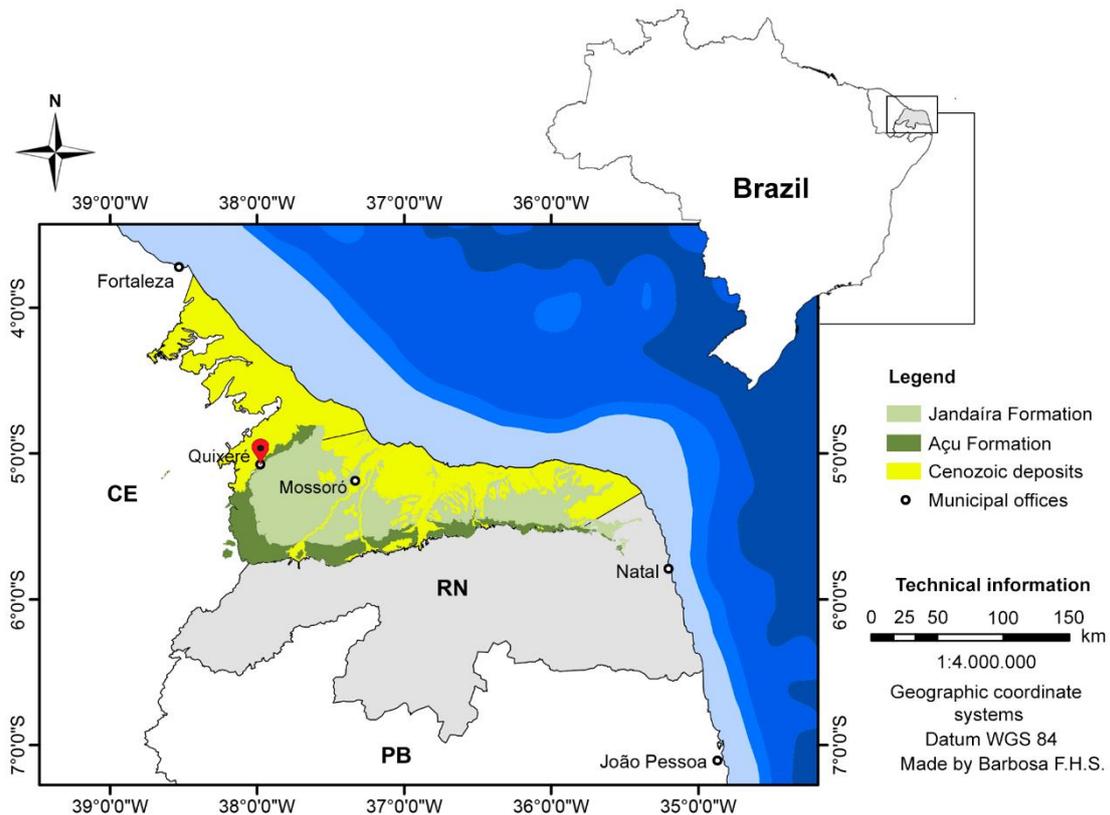


Fig. 1. Simplified map of emerged part of the Potiguar Basin. The red pin indicates the study area.

Its formation began in the Mesozoic and was due to the crustal stretching of the basin, which resulted from the breakup of the Gondwana supercontinent, in a rifting process, that is, the separation of the African and South American plates for the formation of the South Atlantic

Ocean (PAES-NETO et al., 2007). This rifting unites the Northeastern Brazilian Rift System, in which other inland and passive margin basins are also included (MATOS, 1992; ANGELIM et al., 2006). The age of this rifting in the region is related to the period between the Late Jurassic and the beginning of the Cretaceous (ALMEIDA et al., 1981; MARASCHIN et al., 2010).

Araripe and Feijó (1994) proposed a lithostratigraphic organization for the basin, organizing the sedimentary succession into three groups: Areia Branca, Apodi and Agulha. In turn, the Apodi group comprises the Açú, Jandaíra, Ponta do Mel and Quebradas formations, showing a considerable increase in the presence of carbonate rocks.

The Açú Formation was defined by Kreidler & Andrey (1949) to designate the fine to coarse sandstones present in some outcrops of the Potiguar Basin. The predominant lithologies in this unit consist of thicker layers of medium to very thick sandstone with a whitish color intercalated with shales, light green claystones and reddish-brown siltstones (ANGELIM, 2006), reflecting the fluvial and estuarine depositional environments (VASCONCELOS et al., 1990).

Due to poor biostratigraphic resolution, the Açú Formation has not a chronostratigraphic subdivision. This problem led Vasconcelos et al. (1990) to subdivide the Açú Formation in four informal from bottom to top as Açú 1, Açú 2, Açú 3 and Açú 4 based on electrical profiles. Of these units only the Açú 3 and Açú 4 are exposed on the surface. These four units are equivalent to rock packages that were deposited in response to certain temporal events of a regional nature in the basin. The Açú 1 unit is represented by conglomeratic sandstones and conglomerates associated with intertwined alluvial and fluvial fan systems. The Açú 2 includes coarse and conglomeratic sandstones that gradually change to coarse to fine sandstones and siltstones at the top, characterizing the gradual transition from an intertwined river system to a coarse to fine meandering river system. The Açú 3 represents the evolution of a braided river system to a thick meandering system, showing new tectonic activity in the basin or lowering of the sea level. The

Açu-4 unit, the uppermost portion of the subdivisions of the Açu Formation, was deposited in tidal-dominated littoral-estuarine systems, comprising coarse to fine sandstones, siltstones, shales, and carbonates (COSTA *et al.*, 2014).

Initially, the Açu-4 unit was determined as Turonian-Campanian (Early Cretaceous) (VASCONCELOS *et al.*, 1990), later it was dated as Albian-Cenomanian (Early Late Cretaceous) based on palynological data (ARARIPE & FEIJÓ, 1994). In more recent works, Arai (2009; 2014) attributed the Albian age to the training (MARASCHIN *et al.*, 2010).

2.2. Study Area

The studied area consists of two small outcrop representatives of Açu Formation, which are located in the state of Ceará, operationally named as "Outcrop 1" and "Outcrop 2" (Figure 1A). Eleven fossiliferous accumulations were found distributed between two areas, which are here referred as "Collection point 1.x" and "Collection point 2.x," according to the location at the outcrop (Figure 1A).

Point 1.1

This site has three layers (Figure 3A), but only the topmost layer is fossiliferous (from bottom to top). In layer 1 is composed by the mudstone with no primary sedimentary structures but presents incipient pedogenic development. The layer has also slickensides and charred vegetable fragments, with mottling between 20% and 30%. It has a thickness of 40 cm, with 5G 5/1 sediment color (greenish gray) and 2.5YR 5/8 (red) and 7.5 YR 6/8 (reddish yellow) color of the mottling. At this level, sauropod long bones were found semi-articulated with appendicular elements. The contact of layer 1 with layer 2 is abrupt and CaCO₃ nodules are visible in their proximity.

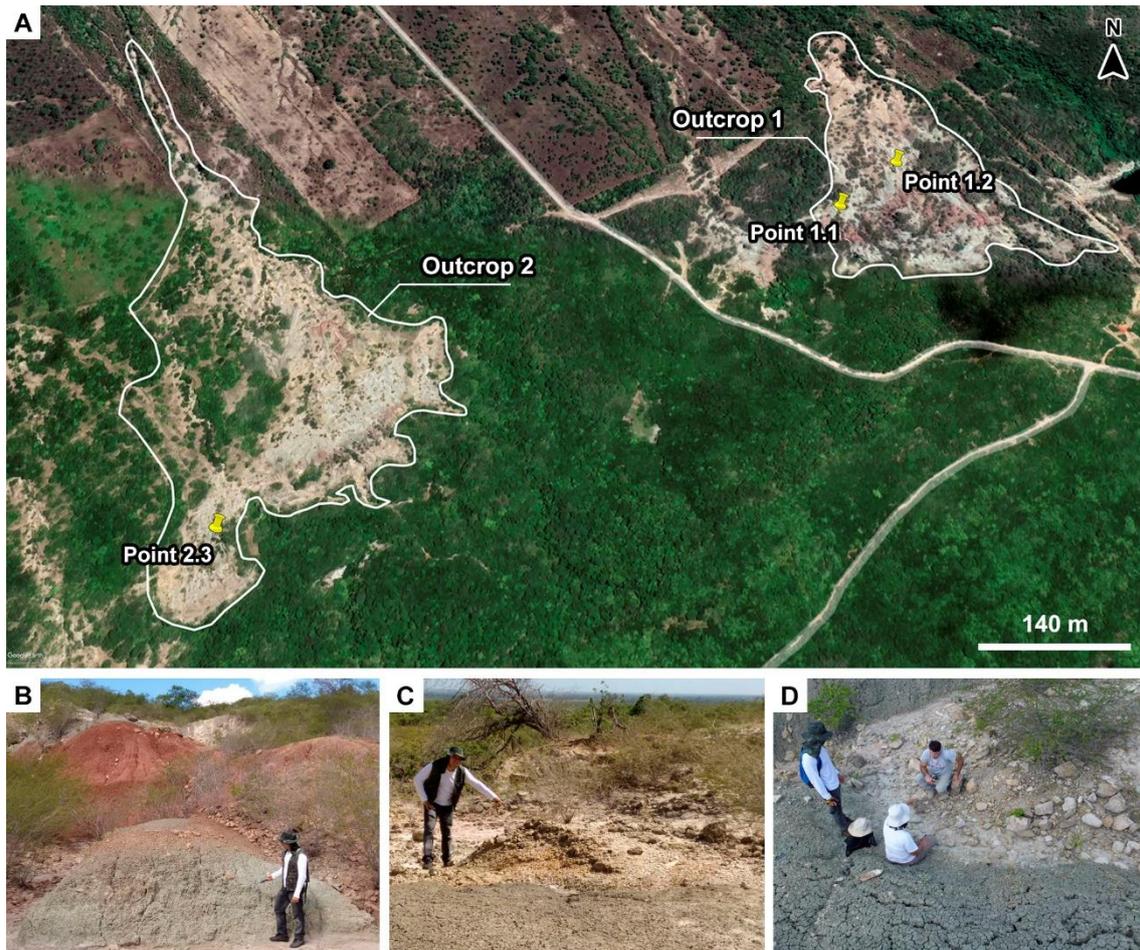


Fig. 2: Aerial view of the two studied outcrops and collections points discovered by the Macrofossil Laboratory/UFRJ team. (A) map of outcrops; (B) Point 1.1; (C) Point 1.2; (D) Point 2.3.

The layer 2 has very fine sandstone with incipient 1mm thick plane-parallel laminations. Visual observation indicated that 50% of the layer presents with mottles and irregularly shaped soft CaCO_3 nodules that occur throughout the layer. The layer is 8 cm thick, and the layer has a coloration of 5 GY 8/1 (light greenish gray) and mottles of color 2.5YR 5/8 (red) and 7.5 YR 6/8 (reddish yellow).

Finally, layer 3 corresponds to a laminated mudstone with a laminar thickness of 1 mm. Slickensides and salt concentration are present. White, hard, irregular and carbonate nodules occupy up to 3% of the layer. Mottles occur indiscriminately in 20% of the layer, not respecting the laminations. In the middle of the mudstone there is a laterally discontinuous lens of very

fine sandstone with a plane-parallel lamination. Layer 3 has a thickness of 50 cm and 5G 7/1 color (light greenish gray). Its mottling presents the coloration 2.5 YR 5/8 (red).

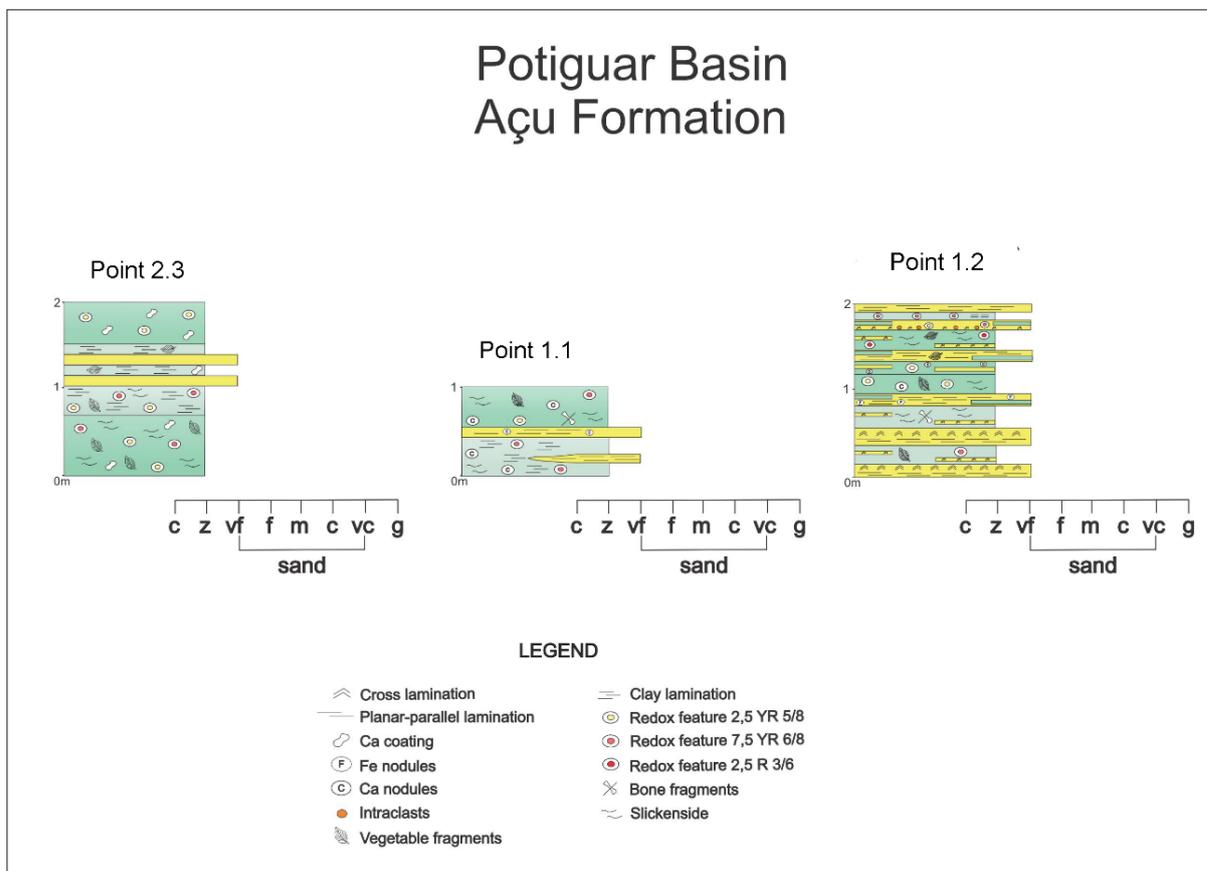


Fig. 3: Stratigraphic profiles of the points 1.1, 1.2 and 2.3.

Point 1.2

This point (Figure 3) has the largest number of layers recognized (eleven layers), but only one of its layers has vertebrate fossils. In the layer 1, from the bottom to top, the top occurs in a cross-laminated sandstone with 2.5 cm strata and thin discontinuous mud coverings that curtain the crossed strata, with a thickness of 1 mm. The base of the layer consists of fine sandstone with plane-parallel laminations and discontinuous mudstone with little presence. There is an abrupt contact with layer 2. It has a thickness of 15 cm and coloration 5GY 8/1 (light greenish gray).

Layer 2 is composed of sandstones with 5GY 8/1 sediment color (light greenish gray) and mudstones with 5G 5/1 sediment color (greenish gray), with a thickness of 25 cm. It is a heterolithic layer with a predominance of mudstones, which form a continuous strata, unlike sandstones, which form discontinuous 1.5 cm thick layers. The mudstones do not present any sedimentary structures, while the sandstones sometimes present cross-laminations. More than 50% are covered by mottling. Plant fragments are present in this stratum (2.5YR 3/6, dark red). It has abrupt contact with layer 3.

Layer 3 is composed of sandstones with cross-laminated and parallel planes followed by mudstones between the laminations. Each lamination has an average thickness of 1mm. It has a thickness of 18 cm and a sediment color of 5GY 8/1 (light greenish gray). Abrupt contact with layer 4.

Composed of sandstones and mudstones, layer 4 has sediment coloring 5GY 8/1 (light greenish gray) and 5G 5/1 (greenish gray), respectively. The layer is heterolytic with a predominance of mudstones and charred plant material. Clay mineral contraction structures such as slickensides are common in the stratum. Dinosaur bones were collected in this layer. Contact with layer 5 is abrupt.

Layer 5 is a heterolithic layer with a predominance of sandstone with plane-parallel lamination. The thickness of the laminations is 1 mm. The presence of irregular, hard iron nodules with a size greater than or equal to 1.5 cm is observed. The layer thickness is 10 cm, and the sediment color is 5GY 8/1 (light greenish gray) (sandstone) and 5G 5/1 (greenish gray) (mudstone). Contact with layer 6 is abrupt.

Layer 6 corresponds to a massive mudstone with a predominance of charred plant fragments. Slickensides and point concentrations of CaCO_3 are also characteristic of this layer. It is 20 cm thick and has a 5G 5/1 color (greenish gray). Mottles make up 30% of the stratum and are 7.5 YR 6/8 (reddish yellow) in color. Contact with layer 7 is abrupt.

Layer 7 is a heterolytic layer with a predominance of mudstone and localized concentrations of CaCO_3 with sizes of 5 mm and slightly boiling. It is 14 cm thick and has a sediment color of 5GY 8/1 (light greenish gray) (sandstone) and 5G 5/1 (greenish gray) (mudstone). It has mottling, which has a coloration of 7.5 YR 6/8 (reddish yellow). Contact with layer 8 is abrupt.

Layer 8 is a heterolithic layer with a predominance of fine sandstone with plane-parallel lamination and dispersed charred plant fragments. It has a thickness of 12 cm and sediment color 5GY 8/1 (light greenish gray) (sandstone) and 5G 5/1 (greenish gray) (mudstone). There is an abrupt contact with layer 9.

Next, we have layer 9. It consists of a heterolithic layer with a predominance of mudstone. The sandstones form layers with a thickness of 5 mm and present cross-laminations. Mottles make up 30% of the stratum. It is possible to observe slickensides in the portions where the mudstones occur. In addition, plant fragments with preserved cuticles were also observed in the mudstones. It has a thickness of 20 cm and a sediment color of 5GY 8/1 (light greenish gray) (sandstone) and 5G 5/1 (greenish gray) (mudstone). Mottles are observed, which have a coloration of 2.5YR 3/6 (dark red). There is an abrupt contact with layer 10.

In layer 10, the base of the layer is a very fine sandstone with intraclasts mudstones, cross-laminations with a thickness of 2 mm and mudstone sheets with more than 1 mm. The top of the layer shows the opposite behavior, with a predominance of mudstones and the absence of sedimentary structures. Mottles are present in 30 to 40% of the layer and with manganese coatings. Layer thickness is 10 cm, sediment color 5GY 8/1 (light greenish gray) (sandstone) and 5G 5/1 (greenish gray) (mudstone) and mottle color 2.5 YR 5/8 (red) and 7.5 YR 6/8 (reddish yellow), being a heterolytic layer. Contact is gradual with layer 11.

Layer 11 has laminated mudstone, with a thickness of 1 mm slats and mottles in 40% of the stratum with manganese coating. It is 6 cm thick, with 5G 5/1 sediment color (greenish gray) and 2.5YR 5/8 mottle color (red). There is abrupt contact with layer 12.

Finally, layer 12 has a very fine sandstone with a plane-parallel lamination and the laminae are up to 1 mm thick. This layer contains 5 cm thick and 5GY 8/1 sediment color (light greenish gray).

Point 2.3

This site has seven layers with different thicknesses and compositions (Figure 3). It is not possible to identify the origin layer of the vertebrae, as reworking had excavated and exposed the vertebrae, leading them to roll downhill before being collected.

Layer 1 is a mudstone with 20 to 30% mottling, has slickensides, localized concentrations of salts (gypsum or anhydrite) and charred plant fragments with preserved cuticles. It has a thickness of 60 cm, with a sediment color of 5G 5/1 (greenish gray), and a mottling color of 2.5 YR 5/8 (red) and 7.5 YR 6/8 (reddish yellow). It has gradual contact with layer 2.

Layer 2, on the other hand, is a finely laminated mudstone and mottles in 50% of the layer. The laminae are 1 mm thick. Oblique and subvertical fractures are present due to movement of clay minerals. Carbonified plant fragments occur in smaller quantities and located at specific points in the layer. It has a thickness of 35 cm, sediment color of 5G 7/1 (light greenish gray) and mottling color of 2.5 YR 5/8 (red) and 7.5 YR 6/8 (reddish yellow). It has abrupt contact with layer 3.

Layer 3 is a very fine sandstone, lacking sedimentary structures. It has a thickness of 10 cm and a sediment color of 5GY 8/1 (light greenish gray).

Layer 4 consists of a finely laminated mudstone , free from mottles and plant fragments. Salt concentrations are locally present. Thickness is 5 cm and sediment color 5G 7/1 (light greenish gray). Contact is abrupt with layer 5.

Layer 5 is composed of a very fine sandstone, lacking sedimentary structures. Plant fragments and salts are locally concentrated. It measures 10 cm thick and has a 5GY 8/1 color (light greenish gray). Presents abrupt contact with layer 6.

Layer 6 corresponds to a finely laminated mudstone , with no mottled features and plant fragments. The thickness is 7 cm and its color 5G 7/1 (light greenish gray). It has gradual contact with layer 7.

Finally, layer 7 is composed of a mudstone, which has saline concentrations and mottles in 10% of the layer. The measured thickness is 50 cm, with sediment color 5G 5/1 (greenish gray) and mottle color 7.5 YR 6/8 (reddish yellow).

3. Material and methods

The material analyzed consists of 142 reptile fossils specimens recovered from the Point 1.1 (22 specimens), Point 1.2 (22 specimens) at the Outcrop 1, and Point 2.3 (98 specimens) of Outcrop 2. All material was recovered by the paleontological team of the Laboratório de Macrofósseis from Universidade Federal do Rio de Janeiro during fieldworks expeditions performed between 2015 and 2019.

Most of the specimens studied was identified as vertebrae and long bones assigned to Dinosauria and Testudines, wich are housed at the Paleontology Collection of the Departamento de Geologia (DEGEO), Instituto de Geociencias (IGEO) Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

The analyses of biostratinomic data were carried out regarding the following aspects: degrees of articulation and fragmentation (BEHRENSMEYER, 1991; LYMAN, 1994; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013a); bone representativeness (SHIPMAN, 1981a); hydraulic equivalence (BEHRENSMEYER, 1975; ARAÚJO-JÚNIOR, 2012); bone transportability (FRISON & TODD, 1986; ARAÚJO-JÚNIOR, 2012); breaking patterns (SHIPMAN, 1981a); weathering marks (BEHRENSMEYER, 1978); abrasion marks (SHIPMAN, 1981a; SIMÕES et al, 2010; FERNANDEZ-JALVO, 2016); trampling marks (FIORILLO, 1988; LYMAN, 1994; BRITT et

al., 2009); bioerosion produced by invertebrates (PIRRONE et al., 2014a); root marks (BEHRENSMEYER 1991; NASCIMENTO, 2020); and color patterns (MUNSELL 1994; 2009; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013a).

For the bone transportability, in this work, the FTI (*Fluvial Transport Index*) values of the Frison & Todd (1986) groups were used for the Dinosauria groups, which, according to Myers & Storrs (2007) (who were the first authors to propose the use of FTI for dinosaurs) and Araújo-Júnior (2012), are the most suitable index for large animals. On the other hand, for chelonians, the Voorhies Group (1969) was used, as this index was established from up-to-date tests carried out with medium-sized animals. The groups and values are: (a) Group I: when the FTI value is equal to or greater than 75 (sacrum, patella, astragalus, calcaneus and vertebra); (b) Group II: when the FTI value is less than 75 or greater than 50 (rib, scapula, humerus, tibia and metacarpal); and (c) Group III: when the FTI value is less than or equal to 50 (atlas, mandible, pelvis, radius and femur). Considering that the closer the FTI value is to 100, the more transportable the skeletal element is. It is then possible to analyze a fossiliferous assemblage with regard to its transportability by water currents based on these values.

To verify the degree of micro-preservation and the fossilization processes involved in the preservation of the 12 thin sections were prepared using specimens recovered from the three locations investigated in this work; all thin sections were produced by the Laboratório Geoquímico de Processamento de Amostras (LGPA) in the Faculdade de Geologia of the Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FGEL/UERJ) and analyzed in the Paleontology Laboratory of the FGEL/UERJ using a polarizing light microscope.

For the microscopic analysis, 12 thin sections of Dinosauria fossils were made, from the three points analyzed in this work, to verify the degree of micro-preservation and the processes involved in fossilization. Some specimens provided more than one cut, so the blades were named R (right), M (middle), and L (left) of the fossil. The thin slides were made by the

Geological Laboratory of Sample Processing (LGPA) of the Faculty of Geology of the University of the State of Rio de Janeiro (FGEO/UERJ) and analyzed in a petrographic microscope of refraction in transmitted and polarized light, in the Paleontology Laboratory of the FGEL/UERJ. In view of this, the slides are listed in the Paleontology Collection of the Faculty of Geology of the Rio de Janeiro State University (FGEL/UERJ).

Following the fossil diagenesis analyses: general transport index (HEDGES & MILLARD, 1995; HOLLUND *et al.*, 2011); degree of permineralization (CASSAB, 2010); degree of replacement (CASSAB, 2010); degree of fragmentation (BEHERSMEYER, 1978).

4. Results and discussion

First, each biostratigraphic and fossil diagenetic aspect analyzed here will be presented and discussed individually for each one of the three collection points.

4.1 Point 1.1

4.1.1 Biostratigraphy

Twenty-two reptile fossil remains from the point 1.1 were analyzed, including the semi-articulated sauropod composed of 18 specimens. Among the specimens, two partially complete fossils were found, such as the right femur of Abelisauridae (UFRJ-DG 588-R), and a semi-completed Sauropoda dinosaur (UFRJ-DG 624-R) (C of Fig 4A); three fragmented specimens (a caudal vertebra UFRJ-DG 730-R Fig 4B, a caudal anterior vertebra of Titanosauria UFRJ-DG 674-R Fig 4 and a scapula UFRJ-DG 731-R) were also present at area 1.1.

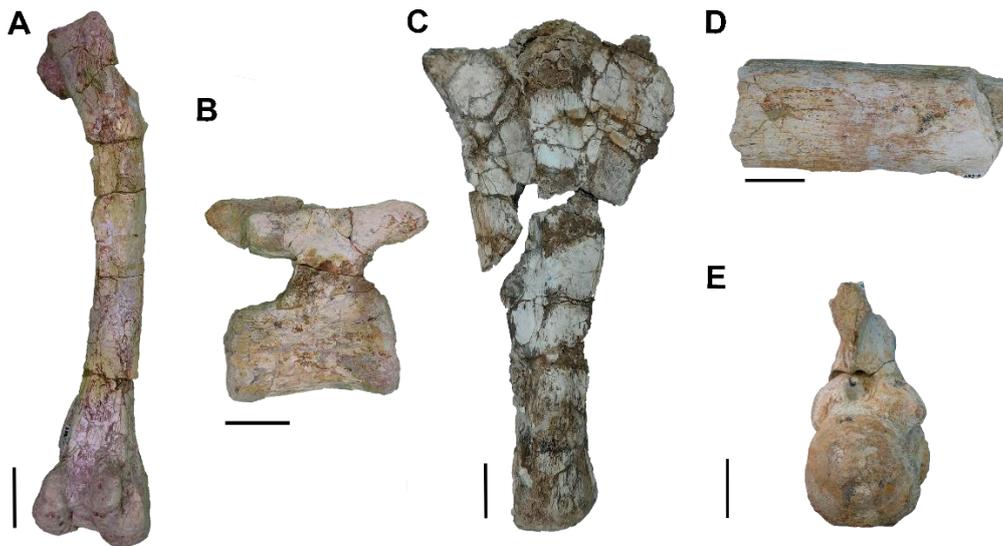


Fig 4: Diversity of bone fossil. A) view Semi-complete right femur assigned to the Abelisauridae family. UFRJ-DG 588-R, dorsal view, from point 1.1. Scale = 5 cm. B) Caudal vertebra of dinosauria. UFRJ-DG 730-R, lateral view, from point 1.1. Scale = 10cm. C) Possible semi-complete ulna attributed to a Sauropod. UFRJ-DG 624-R, anterior view, from point 1.1. Scale = 5 cm. D) rib fragment of undetermined group, UFRJ-DG 585-R, from point 2.3. Scale = 5 cm; E) Caudal vertebra of Titanosauria (Sauropoda), UFRJ-DG 664-R, caudal view, from point 2.3. Scale 5 cm.

The bone representation on this point is different than the other ones (Figure 6), because it's possible to identify the mixture of long bones and vertebrae, showing variation of shape, weight, and size, revealing that a hydraulic event happened in divergent forms.

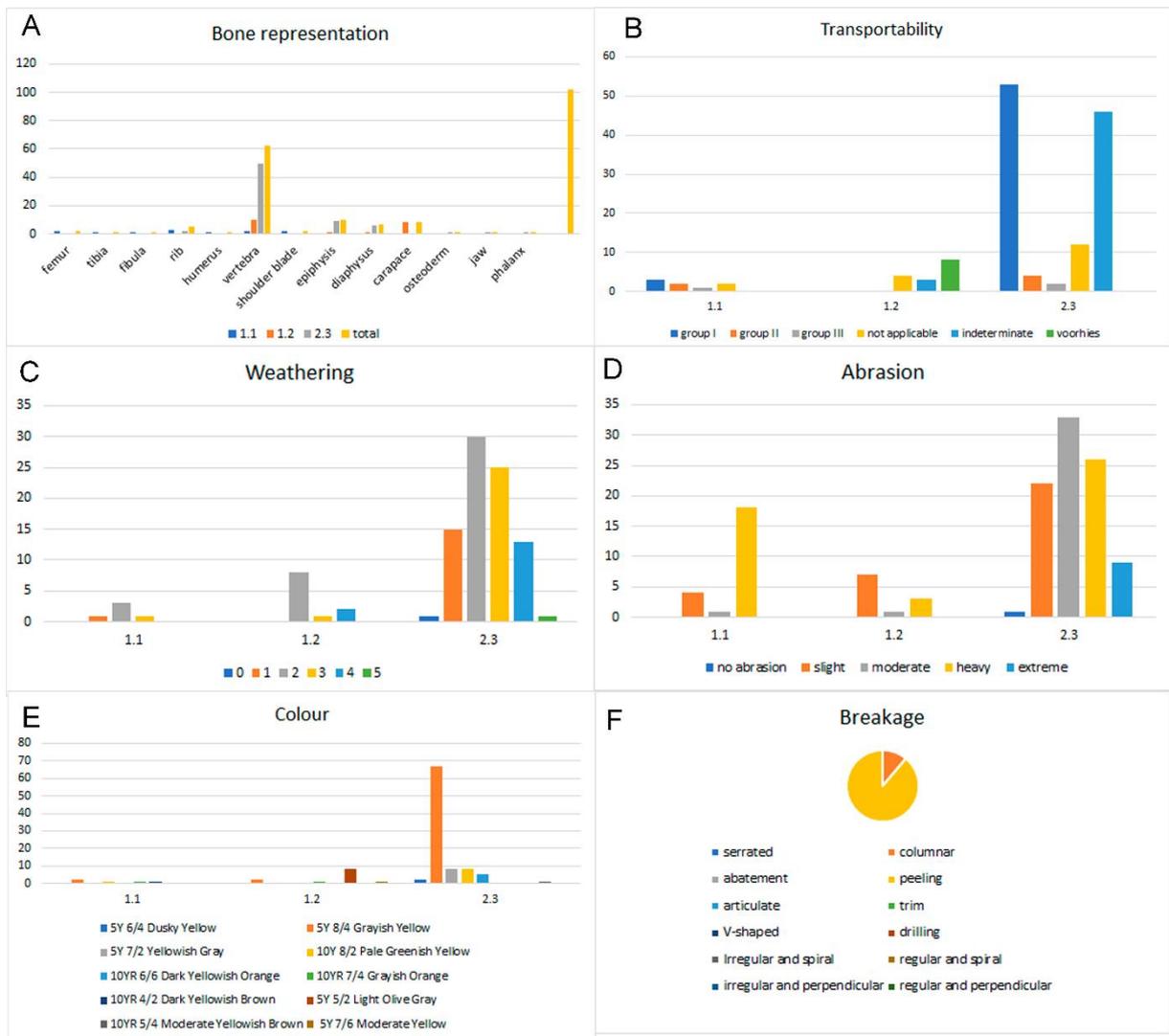


Fig. 5: Taphonomic variables evaluated for the assemblage. (A) Bone representation; (B) Transportability; (C) Weathering; (D) Abrasion; (E) Colour; (F) Breakage.

It was possible to identify stages 1 (UFRJ-DG 588-R), 2 (UFRJ-DG 674-R, UFRJ-DG 730-R and UFRJ-DG 731-R) and 4 (UFRJ-DG 624-R) of weathering (Figure 5C), as well as slight (UFRJ-DG 588-R, UFRJ-DG 674-R, UFRJ-DG 730-R and UFRJ-DG 731-R) and heavy abrasion stages (UFRJ-DG 624-R) (Figure 5D).

The variety of weathering (Figure 5C) and abrasion (Figure 5D) stages found within the remains of point 1.1 suggest a transport of the fossiliferous accumulation and sub-aerial exposure time (ARAÚJO-JÚNIOR, 2012).

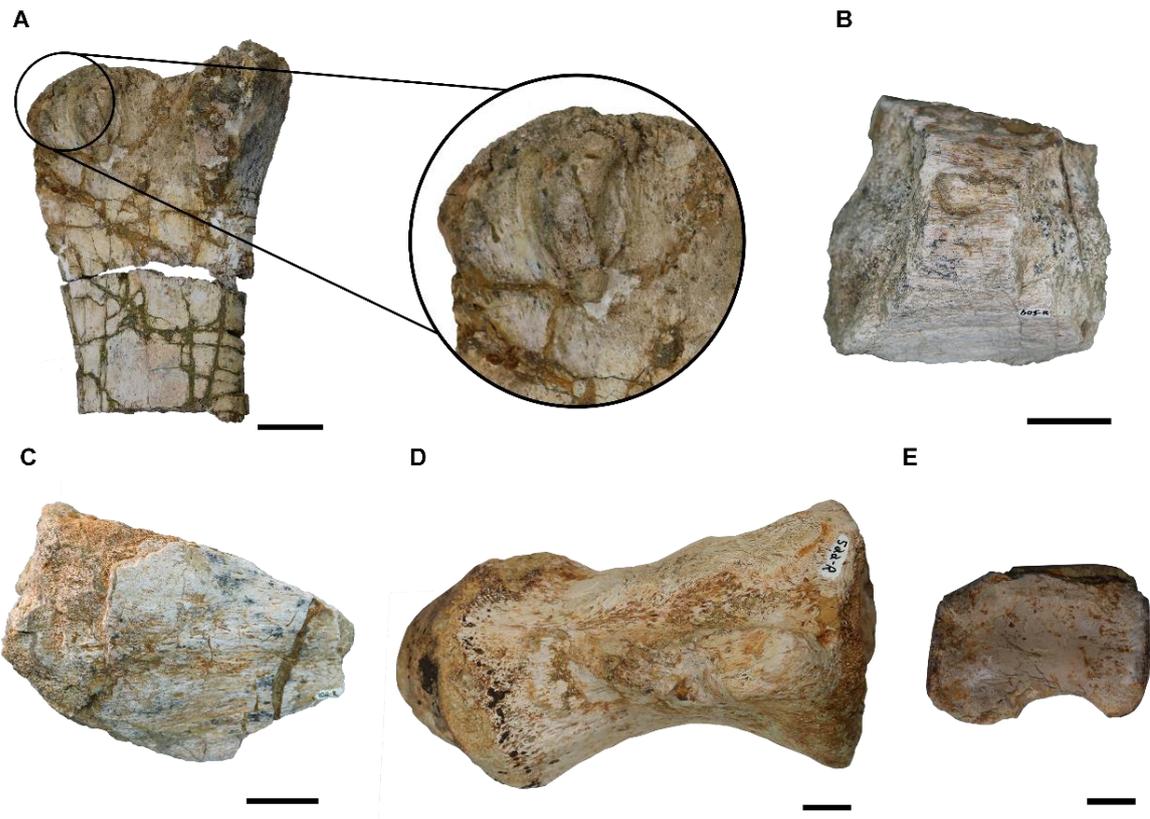


Fig 6: Stages of abrasion and weathering. A) Femur attributed to Sauropod. UFRJ-DG 624-R, rear view. Scale = 10 cm. B) Fragment of Dinosauria, UFRJ-DG 605-R with stage 3 of weathering and moderate level of abrasion; C) Indeterminate long bone epiphysis of sauropod, UFRJ-DG 702-R with stage 4 weathering and high level of abrasion. Scale = 10 cm. D) Caudal vertebral center of Titanosauria. UFRJ-DG 522-R, side view, showing stage 3 of weathering; E) Caudal vertebral center of Carcharadontosauria. UFRJ-DG 523-R, side view, showing stage 2 of. Scale = 5 cm.

The coloration of the specimens (MUNSELL, 1994) varies between 10Y and 5Y tones (Figure 5E) (i.e., grayish yellows and oranges, dark yellowish brown and pale greenish yellow), which can be explained by a temporal mixture (Figure 7).

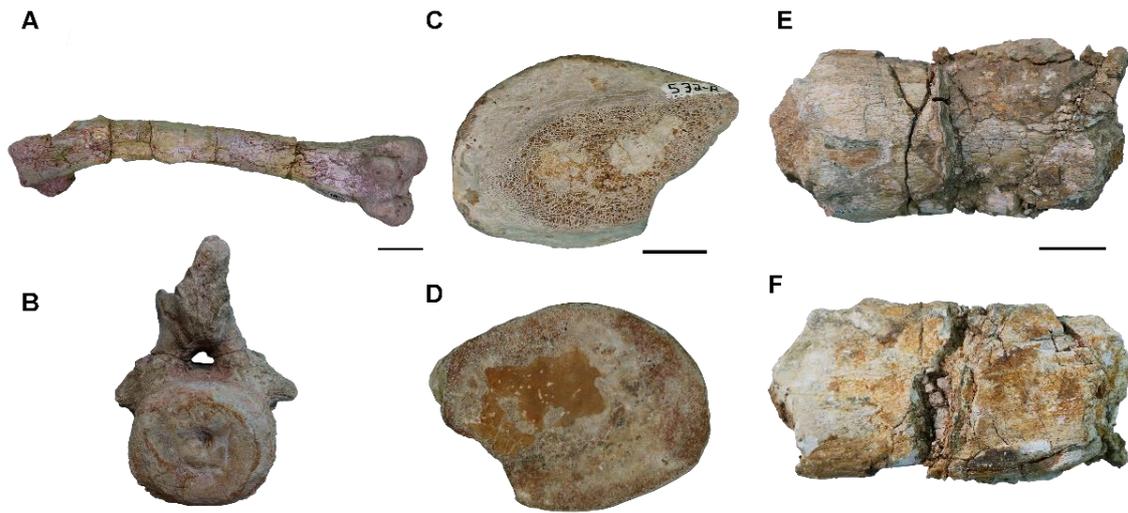


Fig 7: The different color patterns present at the same point. A) right femur of Abelisauridae (UFRJ-DG 588-R) in posterior view, with color pattern 5Y 8/4 Gray yellow; B) lumbar vertebra of Titanosauria (UFRJ-DG 674-R) in cranial view with color pattern 10YR 4/2 Dark yellowish brown. Scale = 5 cm. C and D) UFRJ-DG 532-R, same fossil showing different colors. C) 5Y 8/4 Grayish yellow; D) 10YR 5/4 Moderate yellowish brown. Scale = 5 cm. E and F) Sauropod long bone diaphysis, UFRJ-DG 703-R, staining 10YR 7/4 Gray Orange on the dorsal portion and 5Y 7/6 Moderate Yellow on the ventral portion. Scale = 10 cm.

Tooth marks are present on the tibia of the semi-articulated sauropod (UFRJ-DG 624-R) (Fig 8C) and on the distal portion of the right femur of Abelisauridae (UFRJ-DG 588-R) (Fig 8A). Root marks were found on an undetermined specimen, probably a scapula (UFRJ-DG 731-R) indicating a place with vegetation and humidity, such as a river environment (Fig 8B).

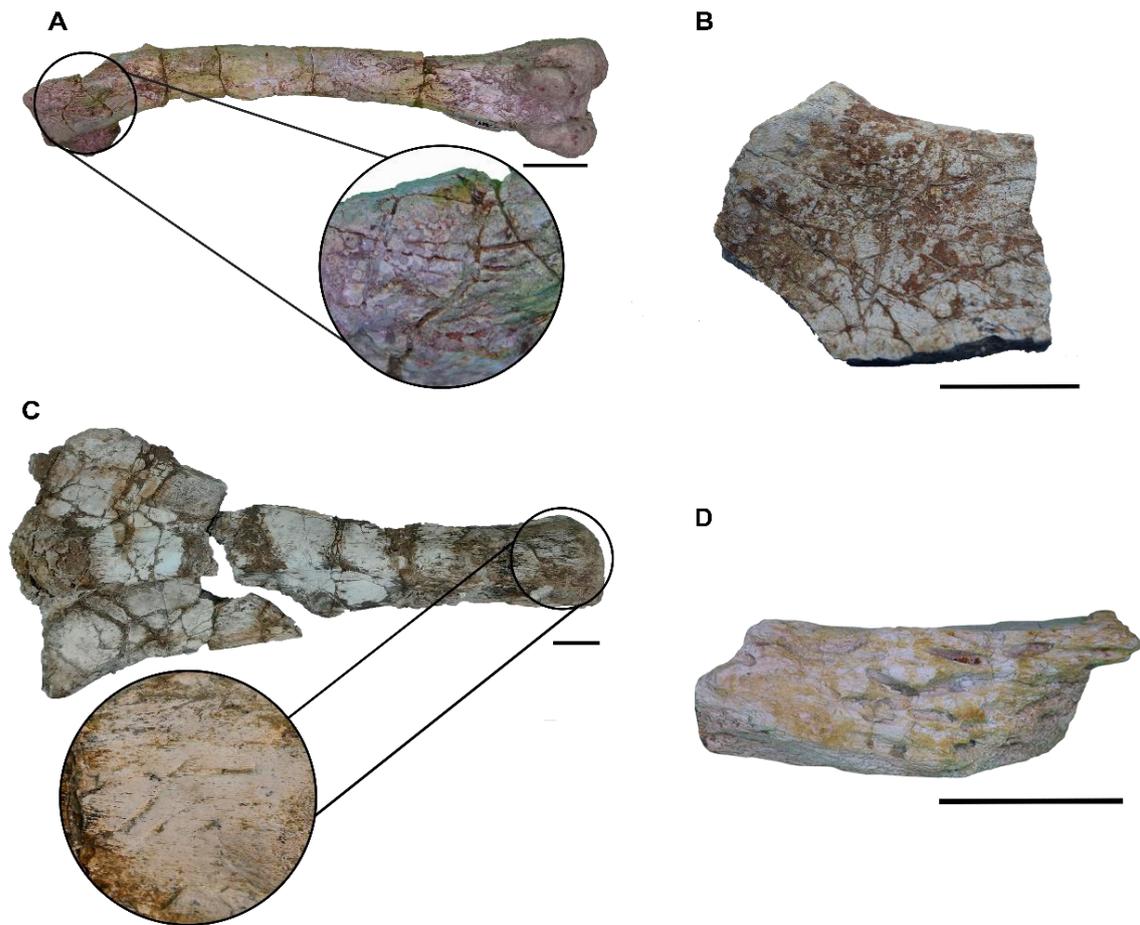


Fig 8: Biogenic marks. A) UFRJ-DG 588-R with zooms indicating the location of tooth marks, point 1.1. Scale = 5 cm. B) Fragment classified as possibly a scapula, UFRJ-DG 731-R, point 1.1. Scale = 10 cm. C) Anterior view of the possible ulna. UFRJ-DG 624-R with zooms indicating the location of tooth marks, point 1.1. Scale = 5 cm. D) Bioerosion caused by invertebrates called *Cubiculum isp.*, UFRJ-DG 852-IC, point 2.3. Scale = 5 cm.

In this point 1.1, all three transportability groups of the Fluvial Transport Index are present, with predominance of group I (37%) (Fig 5), that is, the most transportable group; there is no presence of gravel in the material, only sandstone with intercalations of silts, and shales. In low energy environments, where animals are expected to undergo little transport, the tendency is to find more elements of Group I. However, this is possibly not due to transport, but to the fact that the number of these elements is greater in the skeleton.

4.1.2 Fossildiagenesis

Three thin sections (UERJ LM-006, UERJ LM-007 and UERJ LM-008) were made from specimens from this point and are shown in Figure 9. Only the well-fragmented fossils were used because they represent those specimens that spent more time subject to taphonomic features.

The General Histological Index (GHI) (HOLLUND *et al.*, 2011), shows a value ranging from 1 to 3, which means that it is possible to observe small well-preserved areas of Harvers's channels and osteocytes gaps. The replacement rate ranges from 80 to 90: UERJ LM-006 shows prevalence of darkish and other colors oxide (Figure 9A and 9B), while UERJ LM-007 (Figure 9C) and UERJ LM-008 (Figure 9D, 9E and 9F) show a mixture of carbonates and oxides. The permineralization degree also ranges from 80 to 90, being mainly composed of carbonates showing large crystals, which indicates a favorable condition to slow growth over a long period of time (PFRETZSCHNER, 2004), with traces of oxide near the osteon's walls, as shown in UERJ LM-008. The carbonate present in previously empty spaces is associated with precipitation events related to water-based transportation, settling after the reduction of water in the medium. (PFRETZSCHNER, 2004; PFRETZSCHNER & TÜTKEN, 2011).

The fracturing pattern is extensive and cuts through several osteons, contouring them, which might be related to drying events and physical weathering (PFRETZSCHNER *et al.*, 2001; TÜTKEN *et al.*, 2004). In cases where the drying is prolonged, circumferential cracks may isolate the osteons from the nearby structures, leading to small peripheral fissures that start by the limit of the osteon but do not spread out beyond it (PFRETZSCHNER & TÜTKEN, 2011), and this is what we can see in Fig. 9A. The diagenetic interpretation of this area. shows

an interleaving of oxides and carbonates in different moments, during drying and humid periods.

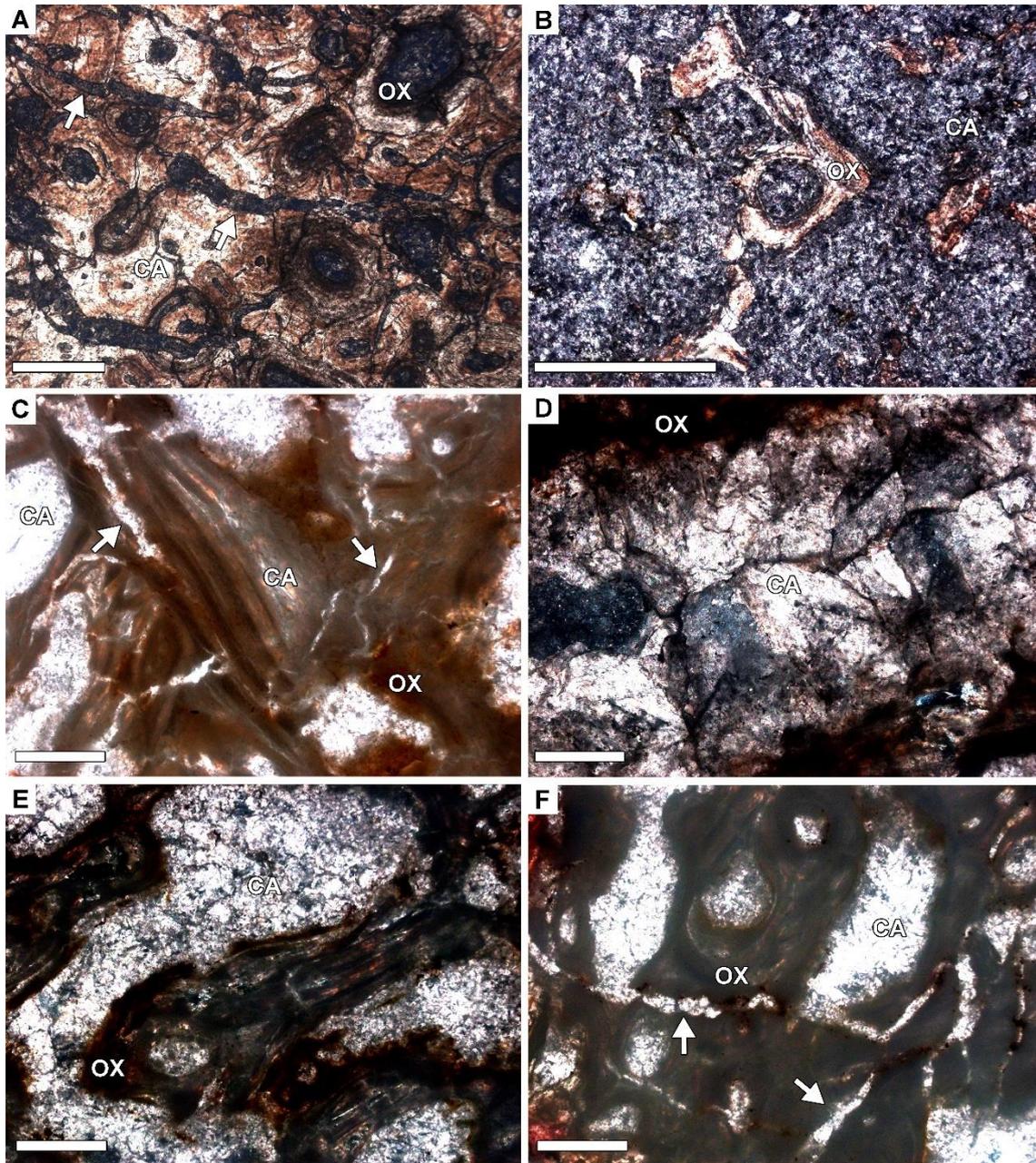


Fig. 9: **A:** UERJ LM-006 – Replacement by carbonate and oxide in the thin section. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 500 μm . **B:** UERJ LM-006 – Replacement with oxide and filling with carbonate. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 1000 μm . **C:** UERJ LM-007 – White arrows indicating fractures. Photo under natural light at 50x magnification. Scale = 500 μm . **D:** UERJ LM-008 – Large carbonate crystals and replacement by oxide. Photo under polarized light at 100x magnification. Scale = 200 μm . **E:** UERJ LM-008 lade – Replacement by oxide and filling by carbonate. Photo under polarized light at 50x magnification.

Scale = 500 μm . **F:** UERJ LM-008 - Replacement by oxide, filling by carbonate and white arrows indicating fractures. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 500 μm . Abbreviations: CA – Carbonate; OX – Oxide.

4.2 Point 1.2

4.2.1 Biostratinomy

Nineteen fossil specimens assigned to Dinosauria and Testudines were analyzed. Sixteen fossils belong to the testudines, while the rest correspond to Dinosauria (Sauropods and Theropods). All chelonian plates are fragmented (Figure 5A) and most of them (77%) have a slight degree of abrasion (Figure 5D), indicating that there was little transport of the specimens. Theropod specimens are also fragmented (Figure 5A) and slight level of abrasion (92%) (Figure 5D). The rest of the material is well fragmented, showing, in the majority, stage 2 of weathering (96%) (Fig 5C). Their coloration varies from grayish yellow (5Y 8/4) in 36% to 5Y 7/2 Yellowish Gray in 18% of cases (Figure 5E). It is possible to see in this point that the fragments present here underwent moderate exposure to the climate of the environment, with sun and wind, in a slightly more intense way than in the previous point.

4.2.2 Fossildiagenesis

Five thin sections (UERJ LM-009, UERJ LM-010, UERJ LM-011, UERJ LM-012 and UERJ LM-013) were made from specimens from this point and are shown in Figure 10. The fragments used to make these slides had the relevant taphonomic features for the analysis.

The general features are similar to those described for point 1.1. The GHI ranges from 0 to 1, indicating little preservation of the original tissue, which restrains the identification of lamellar structures to only a few parts of UERJ LM-009 (Figure 10A and 10B) and UERJ LM-013 (Figure 10F). The filling and replacement degrees range from 80 to 90, with specimens showing a high rate of carbonate and oxide replacement and filling; it is noteworthy the presence of carbonate fringes in UERJ LM-012 (Figure 10E), which indicates an environment that

promoted carbonate precipitation. Alternation of carbonate and oxide requires the oxide in the pore with the carbonate (PFRETZSCHNER & TUTKER, 2011).

It is possible to observe an intense fracturing inside and around the osteons, isolating them from the nearby structures, as well as carbonate fillings inside the fractures, which hints at a prolonged desiccation due to water absorption that could mean that the bones endured underwater conditions for some time (PFRETZSCHNER and TUTKER, 2011). Some specimens also show microfractures that cross several osteocytes, showcasing cracking produced by physical weathering (BEHRENSMEYER, 1978).

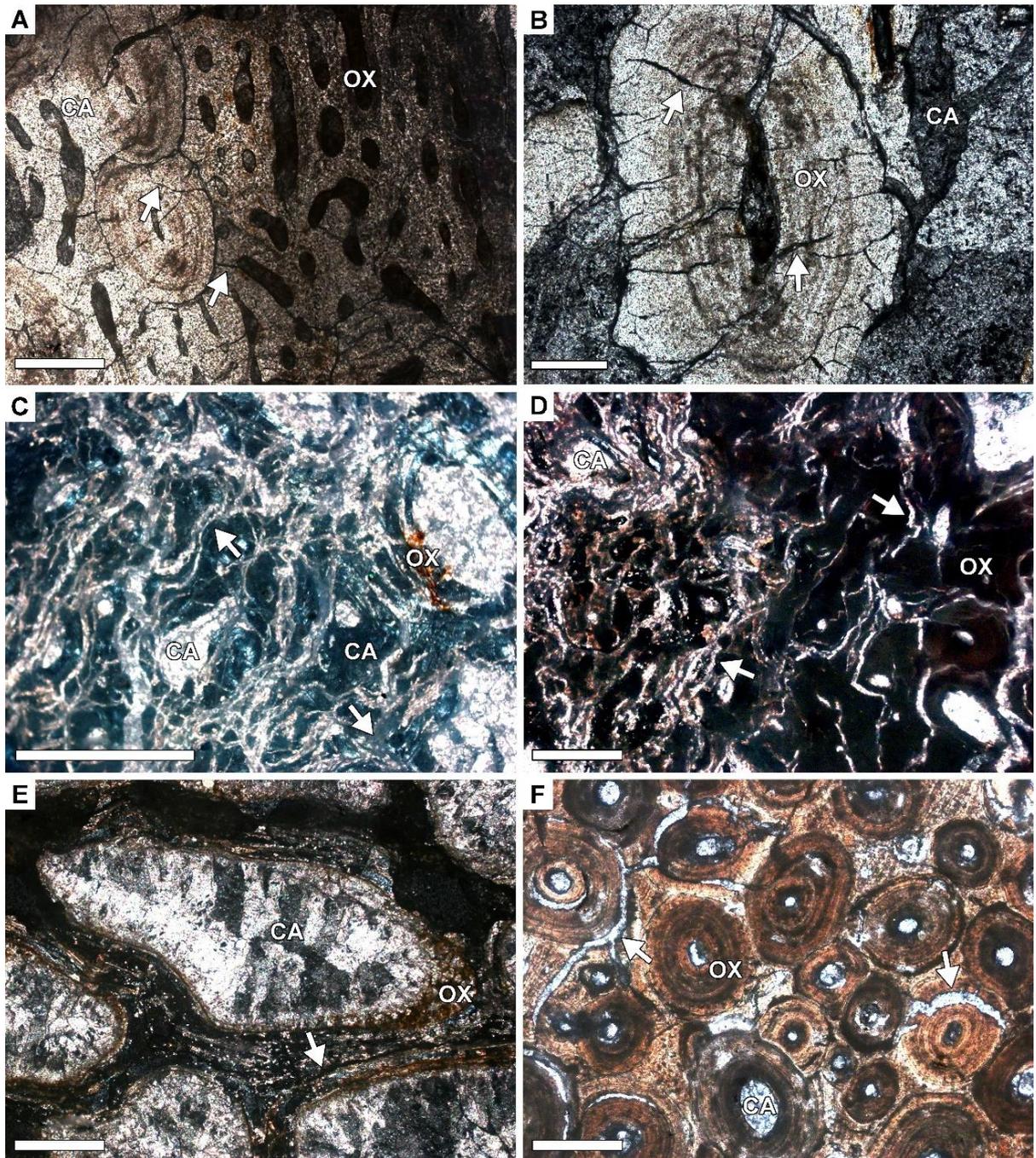


Fig. 10: **A:** UERJ LM-009– Replacement by carbonate and oxide in the thin section, white arrows indicate fracturing regions. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 500 μm. **B:** UERJ LM-009 – Osteon replaced by oxide and filled with carbonate; white arrows indicate fracture regions. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 200 μm. **C:** UERJ LM-010 – White arrows indicating fracturing, different carbonate colors during replacement and filling. Photo under natural light at 50x magnification. Scale = 1000 μm. **D:** UERJ LM-011 – High fracture region with replacement by oxide and filling by carbonate. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 500 μm. **E:** UERJ LM-012 – Replacement by oxide and filling by large carbonate

crystals in Havers' canal, with fringes of carbonates. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 500 μm . **F:** UERJ LM-013 - Replacement by oxide, filling by carbonate and white arrows indicating fractures. Photo under polarized light at 100x magnification. Scale = 20 μm . Abbreviations: CA – Carbonate; OX – Oxide.

4.3. Point 2.3

4.3.1 Biostratinomy

One hundred and two reptile specimens from point 2.3 were analyzed, which represents the site with the highest number of specimens recovered. The vertebrae and vertebral bodies are partially complete (51 specimens), while phalanges (3 specimens) and rib (1 specimen) are partially incomplete; several long bone fragments (19 specimens between epiphyses and indeterminate fragments with breakage patterns B and D of SHIPMAN, 1981a) (Figure 5F) were also recovered. The fossils found at this point correspond to the Dinosauria group. Some recognized taxa were Maniraptora, Abelisauria, Carcharodontosauria and Megaraptora, belonging to the Theropods; Titanosauria, and Rebbachisauridae, belonging to the Sauropods. All stages of weathering proposed by Behrensmeyer (1978) were observed, with a predominance of stages 2 (35.29%) and 3 (29.41%) (Figure 5C). All four abrasion degrees were observed, with a prevalence of moderate level (36%) (Figure 5D), indicating that these fossils may have spent a reasonable period in subaerial exposure (SHIPMAN, 1981a; FERNANDEZ-JALVO & ANDREWS, 2016).

Insect marks assign to *Cubiculum* isp. (ROBERTS et al., 2007) were found on eleven fragments of long bones (Figure 8D), measuring 1 to 3 cm in length and 0.5 cm in width (UFRJ-DG 852-IC). They consist of ellipsoidal perforations in hollow spongy cortical surfaces, with a length two to five times greater than the diameter, with all specimens presenting a taphonomic classification of negative epirelief; since the specimens described here have no more rounded

bases or bioglyphs, due to the high degree of weathering, the classification at species level is unfeasible.

These marks reflect the pulping behavior of larvae which characterizes a bioerosion (ROBERTS et al., 2007), the first one reported for the region. According to Parkinson's classification (PARKINSON, 2016), it can be classified as type 2 chambers, identified by the following set of characteristics: (i) maximum depth of 2 mm; (ii) position perpendicular to the bone direction; (iii) grouped arrangement or not; (iv) absence of padding or ramifications. As for the producers of the marks, it is possible to infer that they were individuals of the genus beetles related to *Dermestes* (“skin eaters”). According to Huchet *et al.* (2013), species of the genus reach bones in advanced stages of decomposition, usually when the body consists of bones, cartilage, and skin. The action of dermestids left important marks that indicate a humid environment and the action of insects under the carcasses of dead organisms (BUATOIS & MÁNGANO, 2011; PIRRONE *et al.*, 2014).

The coloring patterns are different in point 2.3, although they do not differ much from each other and from the other two points: the most common colors, according to Munsell's Color Chart (1994), were 10Y, 10YR and 5Y tones (i.e., different shades of yellow).

Among the specimens in which it was possible to analyze the FTI (Fluvial Transport Index, method used by Frison & Todd 1986), it is possible to observe that those in Group I are prevalent, while the elements included in Group II are a rib (UFRJ-DG 585-R) and a rib fragment (UFRJ-DG 540-R), and in Group III, only a fragment of a Carcharodontosauridae mandible with 3 alveoli was discovered. After analyzing the respective groups, it is possible to identify that the fossils were highly transported.

4.3.2 Fossildiagenesis

Four thin sections (UERJ LM-001, UERJ LM-002, UERJ LM-003 and UERJ LM-004) were made from specimens from this point and are shown in Figure 11. The fragments used to make these slides had the relevant taphonomic features for the analysis.

The specimens present a GHI of 0 (UERJ LM-001 Fig 11A and 11B and UERJ LM-002 Fig 11C) and 1 (UERJ LM-003 Fig 11D and UERJ LM-004 Fig 11E and 11F), showing little preservation of the original tissue. The substitution rate varies from 80 to 90, with predominance of substitution by oxide, easily identified by the reddish to brownish color; a few areas of UERJ LM-001001 (Fig 11A and 11B) also show replacement by carbonate. The high level of bone destruction in UERJ LM-001 (Fig 11A and 11B) and UERJ LM-002 (Fig 11C) shows that some of the remains from this point were subject to extensive processes able to destroy their original structure.

The permineralization degree is between 80 and 90, showcasing a considerable availability of water (PFRETZSCHNER, 2004; TRUEMAN *et al.*, 2004). Even though the presence of oxide can be observed in small areas, the filling is mainly of carbonates, including carbonate fringes that occur alongside the carbonate mud in the pores in a cyclic event (PFRETZSCHNER & TÛTKEN, 2011); this filling can also be observed inside the fracture planes of the bone tissue. The fractures are similar to the ones described on point 1.2 despite the whole filling of the drying fractures being composed of carbonates of varying crystal sizes.

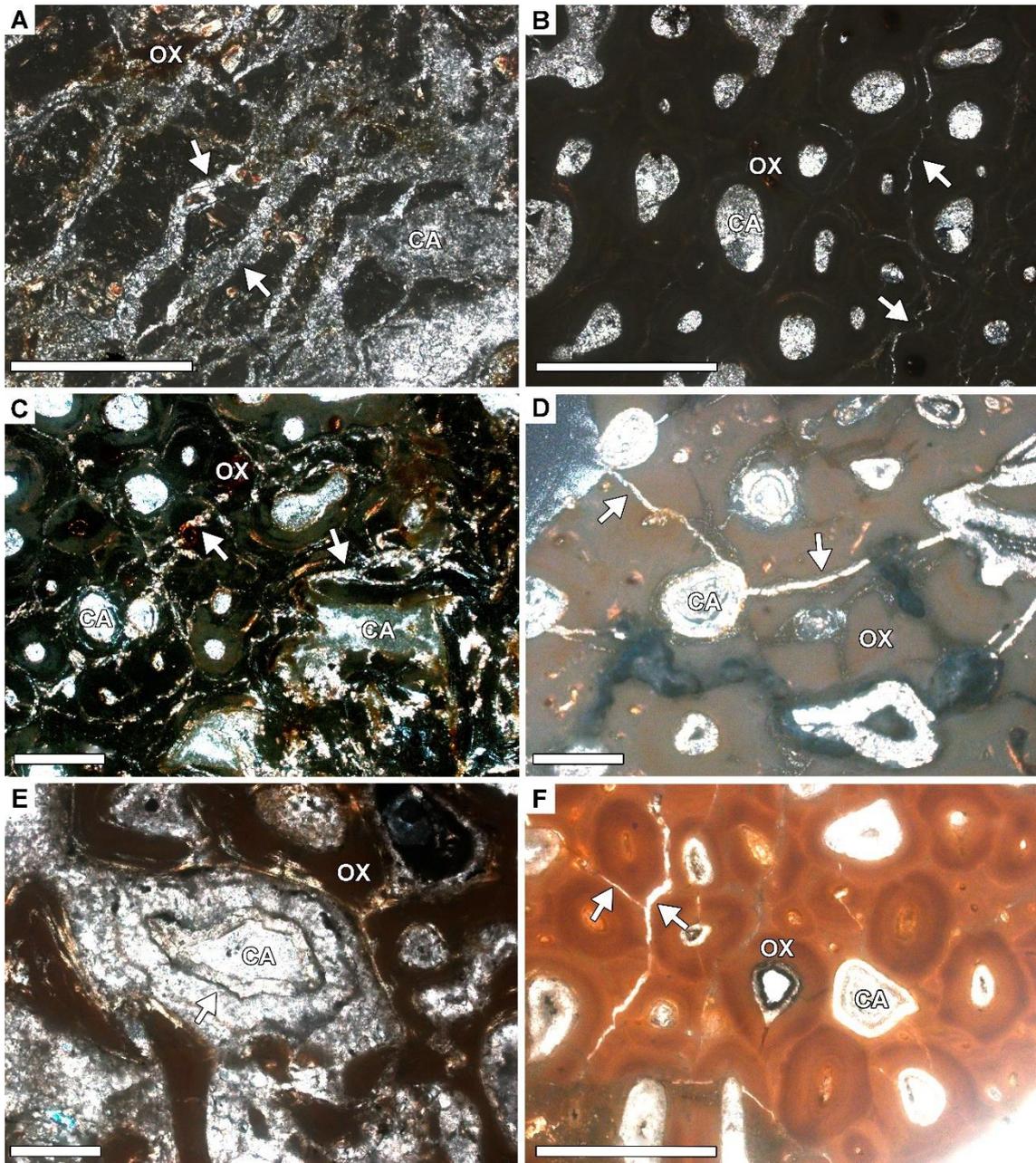


Fig 11: A) UERJ LM-001 – Replacement by carbonate and oxide in the thin section, white arrows indicate fracturing regions. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 1000 μm . B) UERJ LM-001 – Osteons replaced by oxide and filled with carbonate; white arrows indicate fracture regions. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 1000 μm . C) UERJ LM-002– White arrows indicating fracturing, carbonate in the filling of Havers' canals and in the fractures, replacement by oxide. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 1000 μm . D) UERJ LM-003 – bone tissue replaced by oxide, Havers' canals and fractures filled with carbonate, white arrows indicating fracture regions. Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 500 μm . E) UERJ LM-004 – Replacement by oxide and filling by large carbonate crystals in Havers' canal.

Photo under polarized light at 50x magnification. Scale = 500 μm . F) UERJ LM-004 - Replacement by oxide, filling by carbonate and white arrows indicating fractures. Photo under polarized light at 100x magnification. Scale = 20 μm . Abbreviations: CA – Carbonate; OX – Oxide.

4.4 Interpretation of the taphonomic history of the Açú Formation – Açú-4 Unit

4.4.1 Point 1.1

The absence of taxonomic information and the low level of preservation of the specimens do not allow the age of the individuals to be identified. But the material was found rolled at the collection point, this adds to the moderate transport rate from its burial site. Weathering degree 2 for the materials in general, and degree 4 for the associated material from Sauropoda (UFRJ 624-R), shows that sedimentary particles collided with the fossil, accelerating its wear (ARAÚJO-JÚNIOR & MARINHO, 2013; ARAÚJO-JÚNIOR, 2016). With this, it is possible to infer a moderate subaerial exposure, combining this level of abrasion with the disarticulation of part of the fossils found at this point (ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2015).

Although most of the fossils have been classified as indeterminate, the three FTI groups are present (with a slight predominance of group I, showing high transportability). Transportability analysis indicates a peripheral assembly due to the predominance of Group I in 53.45%, 50% of which are vertebrae. The fossiliferous layer is identified as fine sediment (mudstone), that is, easy to transport (ARAÚJO-JÚNIOR & MARINHO, 2013).

The weathering and abrasion marks indicate that there was a prolonged subaerial exposure of the associated material of Sauropoda (UFRJ 624-R), while the other specimens show slight to moderate subaerial exposure (ARAÚJO-JÚNIOR & MARINHO, 2013). No trampling marks were found in any of the specimens, although it is possible to infer scavenging by predators due

to the presence of tooth marks found in two specimens (UFRJ 624-R and UFRJ 852-IC) collected at this point (ARAÚJO-JÚNIOR et al. , 2011, 2017a). It is also possible to infer the presence of little vegetation in the vicinity of the fossiliferous assemblage, since root marks were found only in one specimen, identified as a possible rib (MONTALVO, 2002). The coloration varies in shades of yellow (5Y and 10Y) and brown (5YR and 10YR), which may indicate a temporal mixing in this fossiliferous deposit.

The histological preservation of this point presented the highest index from all the locations studied, indicating that this environment was slightly more favorable for a good preservation. Large fractures suggest periods of drought, or low rainfall (PFRETZSCHNER & TÜTKEN, 2011), which is corroborated by the physical weathering present in the form of microfractures (BEHERSMEYER, 1978). Furthermore, the high rates of carbonate filling in the osteon pores, and in the microfractures, indicate the dominance of an aqueous environment, where there was precipitation of carbonate mud.

4.3.2 Point 1.2

In this point, in addition to Dinosauria remains, fragments of turtle shells were collected, most of which had moderate levels of weathering. All specimens had a high degree of fragmentation, abrasion, and weathering, which indicate that there was considerable sub-aerial exposure (i.e., the material was subjected to climate and environment). Despite moderate exposure, the fossils did not show invertebrate action, scavenging marks, or root marks.

The color pattern of the material is mostly similar to those of point 1.1, with UFRJ 703-R standing out for its orange (10YR) and yellow (5Y) anterior and posterior portions. The exposed section of the specimen's structure, which received significant subaerial exposure in the same position, may indicate specimen's structure (darker colour), which received significant subaerial exposure in the same position.

With the fossil diagenetic analysis, it is possible to infer a very low preservation of the original tissue, with a low histological index, slightly different from what is found in the previous point. However, there are similarities to point 1.1 when it comes to filling, replacement, and fracturing, that is, a material that has been extensively exposed to weathering processes, indicating a humid environment.

4.3.3 Point 2.3

The largest number of disarticulated remains (several rolled vertebrae of Dinosauria) came from this point, corroborating the suggestion that there was no rapid burial after death (ARAÚJO-JÚNIOR & MARINHO, 2013). The abrasion degree of the remains is moderate, showing that there was considerable transportation to the deposition site (BEHRENSMEYER, 1990; 1991). Twenty-eight specimens out of the 88 fossils are fragmented and with stages 2 and 3 of weathering, which indicates, as well as the level of disarticulation, that they spent some time in subaerial exposure, soon after death (ARAÚJO -JUNIOR, 2012).

The insect marks (*Cubiculum* isp.) present in the specimens at this point (bioerosion) occurred in well-abraded (porous) fossils (BEHRENSMEYER, 1991), indicating a humid environment, where dermestids, still in the larval stage, used the animal carcass probably close to the final burial process (XING et al., 2016).

The predominance (49%) of the FTI >75 group indicates that point 2.3 represents a very transportable assemblage. Thus, the fossil accumulation can be classified as parautochthonous. The high hydraulic transport at this point is evidenced by the hydraulic equivalence demonstrated in the relationship between the fossils and sediment, that is, they can be removed by water currents. (ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2012).

Combining this biostratigraphically collected information with the histological analysis, it is the point where there is greater fracturing (both in size and in quantity), covering several osteons,

giving rise to the physical weathering also present here, in microscopic form. Thus, like the other collection points, high rates of filling and replacement by carbonate and oxide are still present, shedding light on an environment that has undergone climate seasonality over thousands of years. The oxide, of different shades, is present at the driest moment, showing that it is fed by the environment by Fe^{2+} ions (PFRETZSCHNER & TÜTKEN, 2011).

5. Conclusions

The three points of the Açu Formation – unit 4 went through the same taphonomic processes but with different intensities, before and after burial. Biogenic marks were found initiating the processes that, after fossilization, intensified with the high exposure that these fossils obtained, demonstrated in levels of abrasion, fragmentation pattern and physical weathering. These aspects, associated with disarticulation and color pattern, confirm that there was a moderate transport within an environment identified as fluvial, as possible periods of flooding would have carried these specimens and produced a paraautochthonous assemblage.

Thin sections were used to observe fossildiagenetic features, which reaffirm what has been suggested by biostratigraphic research. The presence of iron oxides and calcium carbonates replacing and filling the osteocytes, as well as physical weathering marks on microscales, confirms this humid climate environment with low rainfall periods.

References

- ALMEIDA F.F.M DE; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de; FUCK, R.A, 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, v. 17, n. 1-2, p. 1-29.
- ANGELIM, L. A. A.; NESI, J. R.; TORRES, H. H. F.; MEDEIROS, V. C.; SANTOS, C. A.; VEIGA JUNIOR, J. P.; MENDES, V. A., 2006. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte – Escala 1:500.000*. Programa Geologia do Brasil. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 119p.
- ARAI, M., 2009. Paleogeografia do Atlântico Sul no Aptiano: um novo modelo a partir de dados micropaleontológicos recentes. *Bol. Geociencias Petrobras* 17, e351.
- ARAI, M., 2014. Aptian/albian (early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective. *Braz. J. Genet.* 44, 339–350.
- ARARIPE, P.T., FEIJO, F.J., 1994. Bacia Potiguar. *Bol. Geociencias Petrobras* 8, 127–141.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H.I., PORPINO, K.O., 2011. Assembleias fossilíferas de mamíferos do Quaternário do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil: diversidade e aspectos tafonômicos e paleoecológicos. *Pesqui. Geociênc.* 38, 67–83.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H.I., PORPINO, K.O., XIMENES, C.L., BERGQVIST, L.P., 2011. Análise multivariada como ferramenta tafonômica no estudo das associações quaternárias de mamíferos do Nordeste do Brasil. *Gaea J. Geosci.* 7, 104–111. <http://dx.doi.org/10.4013/gaea.2011.72.03>.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H.I., BISSARO-JÚNIOR, M.C., SANTOS, T.T., ALVES, R.S., BERGQVIST, L.P., 2012. Tafonomia da megafauna pleistocênica brasileira: Fluvial Transport Index (FTI) em análises de representatividade óssea. *Rev. Bras. Paleontol.* 15, 95–104. <http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2012.1.08>
- ARAÚJO-JÚNIOR, H.I., PORPINO, K.O., XIMENES, C.L., BERGQVIST, L.P., 2013a. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: a study case in the Pleistocene of northeastern Brazil. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 378, 52–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.04.001>
- ARAÚJO-JÚNIOR, H.I., DOMINATO, V.H., BERTONI-MACHADO, C., AVILLA, L.S., 2013b. Taphonomic aspects of the Pleistocene vertebrate assemblage of Itaboraí, state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 46, 26–34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2013.05.001>
- ARAÚJO-JÚNIOR, H.I., PORPINO, K.O., BERGQVIST, L.P., 2013c. Taphonomic analysis of a late Pleistocene vertebrate accumulation from Lage Grande Paleontological Site, Pernambuco State, northeastern Brazil: New remarks on preservational aspects of tank deposits. *Quat. Int.* 317, 88–101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.08.016>
- BEHRENSMEYER, A.K., 1975. The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblage east of Lake Rudolf, Kenya. *Bull. Mus. Comp. Zool.* 146, 473–578.

BEHRENSMEYER, A.K., 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology* 4, 150–162.

BEHRENSMEYER, A.K., 1982. Time resolution in fluvial vertebrate assemblages. *Paleobiology* 8, 211–227.

BEHRENSMEYER, A.K., 1991. Terrestrial vertebrate accumulations. In: Allison, P.A., Briggs, D.E.G. (Eds.), *Taphonomy: Releasing the data locked in the fossil record*. Plenum Press, New York, pp. 291–335.

BEHRENSMEYER, A. K.; HOOK, R. W. Paleoenvironmental contexts and taphonomic modes. In: BEHRENSMEYER, A. K.; DAMUTH, J. D.; DIMICHELE, W. A.; POTTS, R.; SUES, H. D.; WING, S. L. (Eds.). *Terrestrial ecosystems through time: evolutionary paleoecology of terrestrial plants and animals*. Chicago: University of Chicago Press, 1992, p. 15 – 136.

BEHRENSMEYER, A. K.; KIDWELL, S. M. Taphonomy's contributions to paleobiology. *Paleobiology*. [S.l.], v. 11, n. 1, p. 105 – 119, 1985.

BEHRENSMEYER, A. K.; MILLER, J. H. Building links between Ecology and Paleontology using taphonomic studies of recent vertebrate communities, In: LOUYS, J. (ed.), *Paleontology in Ecology and Conservation*. Berlin: Springer-Verlag, 2012, p. 69 – 91.

BERGQVIST, L.P.; CARVALHO, I.S.; PORPINO, K. O.; ARAÚJO-JÚNIOR, H.I.; SANTOS-JÚNIOR, V.; CANDEIRO, C.R.A.; ISASI, M.P. Paleobiota da Formação Açú, Bacia Potiguar: da obscuridade à notoriedade. In: X Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados, 2016, Rio de Janeiro. *Boletim Paleontologia em Destaque*, 2016. v. 1. p. 39.

BERTANI, R. T.; ALPOLUCENO NETO, A. F.; MATOS, R. M. D., 1987. O habitat do petróleo da Bacia Potiguar emersa. In: *Boletim de Geociências da Petrobras*. Rio de Janeiro: [s.n.], n. 1, p. 41 – 49.

BRITT, B.B., EBERTH, D.A., SCHEETZ, R.D., GREENHALGH, B.W., STADTMAN, K.L., 2009. Taphonomy of debris-flow dinosaur bonebeds at Dalton Wells, Utah (Lower Cretaceous, Cedar Mountain Formation, USA). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 280, 1–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.06.004>

BUATOIS, L.A., MÁNGANO, M.G., 2011. *Ichnology: Organism-substrate interactions in Space and Time*. Cambridge University Press, New York.

CARVALHO, M.A., 2004. Palynological Assemblage from Aptian/Albian of the Sergipe Basin: Paleoenvironmental Reconstruction. *Revista Brasileira de Paleontologia* 7(2):159-168.

CASSAB, R.C.T., 2003. Paleontologia da Formação Jandaíra, Cretáceo Superior da Bacia Potiguar, com ênfase na paleobiologia dos gastrópodos. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 184 p.

CASSAB, R.C.T. 2010. Paleontologia: objetivos e princípios. In: Carvalho, I.S. (ed.) *Paleontologia: Conceitos e Métodos*. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, p. 3-12.

COSTA, A.B.C., CORDOBA, V.C., NETTO, R.G., LIMA FILHO, F.P., 2014. Registro faciologico e paleoambiental da transgressao que marca a passagem do Cenomaniano para o Turoniano na Bacia Potiguar, NE do Brasil. *Comunicacoes Geologicas* 101, 415–420.

CREMONINI, O. A.; GOULART, J. P. M.; SOARES, U. M., 1996. O Rife Potiguar: novos dados e implicações tectônicas. In: *BOLETIM DO 4º SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 1996*, São Paulo. Anais... [S.l.]: s.n. p. 89 – 93.

DUARTE, L.; SILVA-SANTOS, R., 1961. Novas ocorrências fossilíferas nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará. *Coleção Mossoroense*, 56, 11 p.

EFREMOV, I., 1940. Taphonomy: a new branch of paleontology. *Pan-American Geologist*, [S.l.], v. 74, p. 81 – 93.

FERNÁNDEZ-JALVO, Y.; ANDREWS. Linear marks. In: DELSON, E.; SARGIS, E. J. (Eds.), *Atlas of taphonomic identifications*. Dordrecht: Springer, 2016, p. 25 – 100.

FIORILLO, A.R., 1988. Taphonomy of Hazard homestead Quarry (Ogallala Group), Hitchcock County, Nebraska. *Contrib. Geol.* 26, 57–97.

FRISON, G.C., TODD, L.C., 1986. The Colby Mammoth Site: Taphonomy and Archaeology of a Clovis kill in northern Wyoming. University of New Mexico Press, Albuquerque.

HEDGES, R. E. M.; MILLARD, A. R. 1995. Measurements and Relationships of Diagenetic Alteration of Bone from Three Archaeological Sites. *Journal of Archaeological Science*. 22. 201-209.

HOLLUND, H. I.; JANS, M. M; COLLINS, E. M. J.; H. KARS, JOOSTEN I.; KARS, S.M., 2011. What Happened Here? Bone Histology as a Tool in Decoding the Postmortem Histories of Archaeological Bone from Castricum, The Netherlands. *Int. J. Osteoarchaeol.*

HOLZ, M., SIMÕES, M.G., 2002. *Elementos Fundamentais de Tafonomia*. Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre.

HÖPNER S.; BERTLING M. Holes in Bones: Ichnotaxonomy of Bone Borings, *Ichnos*, 24:4, 259-282, 2017.

HUCHET, J.B; LE MORT, F; RABINOVICH, R.; BLAU, S; COQUEUGIOT H; ARENSBURG, B. Identification of dermestid pupal chambers on Southern Levant human bones: inference for reconstruction of Middle Bronze Age mortuary practices. *Journal of Archaeological Science* 40 (2013) 3793-3803.

Kidwell, S.M., Flessa, K.W., 1995. The quality of the fossil record: Populations, species, and communities. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 26, 269–299.

LYMAN, R.L., 1994. *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press, Cambridge.

MARASCHIN, A., MIZUSAKI, A.M., VASCONCELOS, P.M., HINRICHS, R., LUIZ, D.E., DOS ANJOS, S., 2010. Depositional age definition of the Acu Formation (Potiguar Basin, northeastern Brazil) through ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of early-authigenic K-feldspar overgrowths. *Pesqui. Geocienc.* 37, 85–96.

MATOS, R. M. D., 1992. The Northeast Brazilian Rift System. *Tectonics*, [S.l.], v. 11, p. 766 – 791.

MELO, A. C. C., 2016. Evolução dos sistemas de falhas de borda do Rife Potiguar com base em curvas de crescimento de falhas. Dissertação (mestrado em Geodinâmica e Geofísica com área de concentração em Geofísica.) - Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. ix, 58f: il.

R., KADLECOVÁ, E., FEJFAR, O., DVOŘÁK, Z., 2006. Three new ichnogenera of biting and gnawing traces on reptilian and mammalian bones: a case study from the Miocene of the Czech Republic. *Ichnos* 13:1–15. <http://dx.doi.org/10.1080/10420940600850729>

MONTALVO C.I., 2002. Root traces in fossil bones from the Huayquerian (Late Miocene) faunal assemblage of Telén, La Pampa, Argentina. *Acta Geologica Hispanica*, v. 37, nº 1, p. 37-42.

MUNSELL, A. H., 1994. Munsell soil color charts. Revised edition. New Windsor: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation, 29p.

NASCIMENTO, D.L., 2020. Rizólitos e Outros Traços Produzidos por Vegetais. In: *Iconologia: Interações entre Organismos e Substratos*. Curitiba: CRV, p. 401-429.

PARKINSON A. H., 2016. Traces of Insect Activity at Cooper's D Fossil Site (Cradle of Humankind, South Africa), *Ichnos*, 23:3-4, 322-339.

PAES NETO, V.D., 2016. Traços fósseis de insetos em ossos de vertebrados do Triássico médio e tardio do Brasil. / *Voltaire Dutra Paes Neto*. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 106 f. il.

PAES NETO, V.D., PARKINSON A. H., PRETTO F. A., SOARES M. B., SCHWANKED C., SCHULTZ C. L., KELLNER A.W., 2016. Oldest evidence of osteophagic behavior by insects from the Triassic of Brazil. In: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 453, p. 30–41.

PEDROSA JUNIOR, N.C., CASTRO, D.L. DE & MATOS, J.P.L. DE., 2010. Assinaturas Magnéticas e Gravimétricas do Arcabouço Estrutural da Bacia Potiguar Emersa, Ne do Brasil. In: *Revista Brasileira de Geofísica*, V. 28(2).

PEREIRA, P.V.L.G.C. Fauna de dinossauros do Cretáceo (Albiano-Cenomaniano) da Formação Açu, Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 2018, 126 p.

PEREIRA, P.V.L.G.d.C., VEIGA I.M.M.G, RIBEIRO T.B., CARDOZO R.H.B., CANDEIRO C.R.d.A., BERGQVIST L.P., 2020. The path of giants: a new occurrence of Rebbachisauridae (Dinosauria, Diplodocoidea) in the Açú formation, NE Brazil, and its paleobiogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences* 100102515.

PESSOA NETO, O.C.. 2003. Estratigrafia de Sequências da Plataforma Mista Neogênica na Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira. In: *Revista Brasileira de Geociências*. V. 33(3), p. 263-278.

PESSOA NETO, O. C., SOARES U.M., SILVA J.F.F., ROESNER E.H., FLORENCIO C.P., SOUZA C.A.V., 2007 Bacia Potiguar. In: *Boletim de Geociências da Petrobras*. Rio de Janeiro: [s.n.], v. 15, n. 2, p. 357 – 369.

PFRETZSCHNER, H., 2004. Fossilization of Haversian bone in aquatic environments. *C. R.. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, V. 3605–616.

PFRETZSCHNER, H.; TÜTKEN, T. 2011. Rolling bones – Taphonomy of Jurassic dinosaur bones inferred from diagenetic microcracks and mineral infillings. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 310. 117-123.

PFRETZSCHNER, H.-U., ASHRAF, A.R., MAISCH, M.W., SUN, G., WANG, Y., MOSBRUGGER, V., 2001. Cyclic growth in dinosaur bones from the Upper Jurassic of NW China and its paleoclimatic implications. *Proceedings of the Sino-German Cooperation Symposium on Prehistory Life and Geology of Junggar Basin, Xinjiang, China*. Urumqi, pp. 21–39.

PIRRONE C. A., BUATOIS L. A., RIGA B. G., 2014. A New Ichnospecies of Cubiculum from Upper Cretaceous Dinosaur Bones in Western Argentina, *Ichnos: An International Journal for Plant and Animal Traces*, 21:4, 251-260.

PIRRONE, C.A., BUATOIS, L.A., BROMLEY, R.G., 2014. Ichnotaxobases for bioerosion trace fossils in bones. *J. Paleontol.* 88:195–203. <http://dx.doi.org/10.1666/11-058>.

ROBERTS, E.M., ROGERS, R.R., FOREMAN, B.Z., 2007. Continental insect borings in dinosaur bone: examples from the late cretaceous of Madagascar and Utah. *J. Paleontol.* 81, 201–208.

ROGERS, R.R.; EBERTH, D.A.; FIORILLO, A.R., 2007. *Bonebeds: genesis, analysis and paleobiological significance*. The University of Chicago Press, Chicago, pp. 265–332.

SANTOS, M.F.C.F., FLORENCIO, C.P., REYES-PEREZ, Y.A., BERGQVIST, L.P., PORPINO, K.O., UCHOA, A.F., LIMA-FILHO, F.P., 2005. Dinossauros na Bacia Potiguar: o registro da primeira ocorrência. In: *XXI Simposio de Geologia do Nordeste*. vol. 19. Sociedade Brasileira de Geologia, Recife, pp. 325–328.

SHIPMAN, P. *Life History of a Fossil: An Introduction to Taphonomy and Paleocology*. Cambridge: Harvard University Press. 1981a.

SHIPMAN, P., BOSLER, W., DAVIS, K.L., 1981. Butchering of giant geladas at an Ancheulian site. *Curr. Anthropol.* 46, 77–86.

SIMÕES, M.G., RODRIGUES, S.C., BERTONI-MACHADO, C., 2010. Procedimentos metodológicos em Tafonomia. In: Carvalho, I.S. (Ed.), *Paleontologia: Conceitos e Métodos*. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 413–430.

TRUEMAN, C.N.G., BEHRENSMEYER, A.K., TUROSS, N., WEINER, S., 2004. Mineralogical and compositional changes in bones exposed on soil surfaces in Amboseli National Park, Kenya: diagenetic mechanisms and the role of sediment pore fluids. *Journal of Archaeological Science* 31, 721–739.

TÜTKEN, T., PFRETZSCHNER, H.-U., VENNEMANN, T.W., SUN, G., WANG, Y.D., 2004. Paleobiology and skeletochronology of Jurassic dinosaurs: Implications from the histology and oxygen isotope compositions of bones. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 206, 217–238.

VASCONCELOS, E.P., LIMA NETO, F.F & ROOS, S. 1990. Unidades de correlação da Formação Açú – Bacia Potiguar. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Natal, SBG. Anais, v.1, p.227-240.

VEIGA, I.M.M.G., BERQGVIST L.P., FELIPPE, I.F.A.O., 2016. Picking na Bacia Potiguar: primeiros resultados. In: Livro de Resumos da Paleo RJ/ES 2016. P. 106-107.

VEIGA, I.M.M.G., BERQGVIST L.P., BRITO, P.M., 2019. The fish assemblage of the Cretaceous (?Albian-Cenomanian) Açú Formation, Potiguar Basin, Northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 93, p. 162–173.

VOORHIES, M.R., 1969. Taphonomy and populations dynamics of an early Pliocene vertebrate fauna, Knox County, Nebraska. *Contrib. Geol.* 1, 1–69.

XING L., PARKINSON A. H., RAN H., PIRRONE C. A., ROBERTS E. M., ZHANG J., BURNS M. E., WANG T., CHOINIÈRE J., 2016. The earliest fossil evidence of bone boring by terrestrial invertebrates, examples from China and South Africa, *Historical Biology*, 28:8, 1108-1117.

CONCLUSÕES

- É possível perceber uma história tafonômica similar para os três pontos apresentados, havendo somente poucos processos característicos em cada ponto, mostrando assim, que todos os pontos passaram por processos parecidos.
- A maioria dos espécimes apresenta-se desarticulados, exceto pelo Dinosauria do Ponto 1.1, que está semi-articulado, experimentaram moderada exposição subaérea devido ao intemperismo físico do ambiente;
- É possível que os pontos 1.2 e 2.3 do conjunto fossilífera tenham experimentado eventos de retrabalhamento devido aos fósseis rolados;
- O transporte dos espécimes variou de curta a média distância;
- É possível afirmar uma assembleia parautóctone, ou seja, transportada do local de morte ou descarte, mas continua no dentro de seu habitat original, sendo possível afirmar que era um paleoambiente úmido mas com períodos de baixa pluviosidade;
- A marca de raiz no fóssil e nas camadas dos três pontos analisados indica presença de vegetação durante o ambiente de soterramento, provavelmente, um contexto de planície de inundação;
- A presença do icnogênero *Cubiculum* isp. reforça a ideia de um ambiente úmido durante a maior parte do tempo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA F.F.M DE; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de; FUCK, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.
- ANGELIM, L. A. A.; NESI, J. R.; TORRES, H. H. F.; MEDEIROS, V. C.; SANTOS, C. A.; VEIGA JUNIOR, J. P.; MENDES, V. A. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte – Escala 1:500.000. In: ANGELIM, Luiz Alberto de Aquino. Programa Geologia do Brasil. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006. 119p.
- ANP. 2017. Bacia Potiguar. Sumário Geológico e Setores em Oferta. Superintendência de Definição de Blocos.
- ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. J. Bacia Potiguar. In: Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro: [s.n.], 1994. n. 8, p. 127 – 141.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H.I.; MARINHO, T. S. de. Taphonomy of a *Baurusuchus* (Crocodyliformes, Baurusuchidae) from the Adamantina Formation (Upper Cretaceous, Bauru Basin), Brazil: Implications for preservational modes, time resolution and paleoecology. *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 47, 2013, Pages 90-99.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H.I.; PORPINO, K.O. Assembleias fossilíferas de mamíferos do Quaternário do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil: diversidade e aspectos tafonômicos e paleoecológicos. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 38, n. 1, p. 67-83, maio 2011. ISSN 1807-9806.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; BERGQVIST, L. P., Taphonomic analysis of a late Pleistocene vertebrate accumulation from Lage Grande Paleontological Site, Pernambuco State, northeastern Brazil: New remarks on preservational aspects of tank deposits. *Quaternary International*, V. 317, P. 88-101, ISSN 1040-6182, 2013.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; BERGQVIST, L. P., Vertebrate taphonomy and paleoecology in an Upper Pleistocene tank deposit of Paraíba, Brazil: Taphonomic modes, evidence of temporal and spatial resolutions and paleoecological patterns of the Brazilian Intertropical Region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* V. 437, P. 1–17, 2015.

- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; XIMENES, C. L.; BERGQVIST, L. P. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: a study case in the Pleistocene of northeastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 378, p. 52 – 74, 2013a.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; BERGQVIST, L. P. Taphonomic analysis of a late Pleistocene vertebrate accumulation from Lage Grande paleontological site, Pernambuco state, northeastern Brazil: new remarks on preservational aspects of tank deposits. *Quaternary International*, [S.l.], v. 317, p. 88 – 101, 2013b.
- BARBOSA, F.H.S.; ARAÚJO-JÚNIOR H.I. Skeletal pathologies in the giant ground sloth *Eremotherium laurillardii* (Xenarthra, Folivora): New cases from the Late Pleistocene of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, V.110, 2021..
- BEHRENSMEYER, A. K. The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblage east of Lake Rudolf, Kenya. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, [S.l.], v. 146, p. 473 – 578, 1975.
- BEHRENSMEYER, A. K. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, [S.l.], v. 4, p. 150 – 162, 1978.
- BEHRENSMEYER, A. K. Time resolution in fluvial vertebrate assemblages. *Paleobiology*, [S.l.], v. 8, 211–227, 1982.
- BEHRENSMEYER, A. K. Terrestrial vertebrate accumulations. In: ALLISON, P.A., BRIGGS, D.E.G. (Eds.), *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. New York: Plenum Press, 1991, p. 291 – 335.
- BEHRENSMEYER, A. K.; HOOK, R. W. Paleoenvironmental contexts and taphonomic modes. In: BEHRENSMEYER, A. K.; DAMUTH, J. D.; DIMICHELE, W. A.; POTTS, R.; SUES, H. D.; WING, S. L. (Eds.). *Terrestrial ecosystems through time: evolutionary paleoecology of terrestrial plants and animals*. Chicago: University of Chicago Press, 1992, p. 15 – 136.
- BEHRENSMEYER, A. K.; KIDWELL, S. M. Taphonomy's contributions to paleobiology. *Paleobiology*. [S.l.], v. 11, n. 1, p. 105 – 119, 1985.
- BEHRENSMEYER, A. K.; MILLER, J. H. Building links between Ecology and Paleontology using taphonomic studies of recent vertebrate communities, In: LOUYS, J. (ed.), *Paleontology in Ecology and Conservation*. Berlin: Springer-Verlag, 2012, p. 69 – 91.

- BERGQVIST, L.P.; CARVALHO, I.S.; PORPINO, K. O.; ARAÚJO-JÚNIOR, H.I.; SANTOS-JÚNIOR, V.; CANDEIRO, C.R.A.; ISASI, M.P. Paleobiota da Formação Açu, Bacia Potiguar: da obscuridade à notoriedade. In: X Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados, 2016, Rio de Janeiro. Boletim Paleontologia em Destaque, 2016. v. 1. p. 39.
- BERTANI, R. T.; ALPOLUCENO NETO, A. F.; MATOS, R. M. D. O habitat do petróleo da Bacia Potiguar emersa. In: Boletim de Geociências da Petrobras. Rio de Janeiro: [s.n.], 1987. n. 1, p. 41 – 49.
- BRITT, B.B., EBERTH, D.A., SCHEETZ, R.D., GREENHALGH, B.W., STADTMAN, K.L., 2009. Taphonomy of debris-flow dinosaur bonebeds at Dalton Wells, Utah (Lower Cretaceous, Cedar Mountain Formation, USA). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 280, 1-22.
- CASSAB, R.C.T. Paleontologia da Formação Jandaíra, Cretáceo Superior da Bacia Potiguar, com ênfase na paleobiologia dos gastrópodos. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 2003, 184 p.
- CASSAB, R.C.T. 2010. Paleontologia: objetivos e princípios. In: Carvalho, I.S. (ed.) *Paleontologia: Conceitos e Métodos*. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, p. 3-12.
- COSTA, A.B.C.; CÓRDOBA, V.C.; NETTO, R.G.; LIMA FILHO, F.P.; Registro faciológico e paleoambiental da transgressão que marca a passagem do Cenomaniano para o Turoniano na Bacia Potiguar, NE do Brasil. *Comunicações Geológicas* (2014) 101, Especial I, 415-420.
- CREMONINI, O. A.; GOULART, J. P. M.; SOARES, U. M. O Rifte Potiguar: novos dados e implicações tectônicas. In: *BOLETIM DO 4º SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL*, 1996, São Paulo. Anais... [S.l.: s.n.], 1996. p. 89 – 93.
- DUARTE, L.; SILVA-SANTOS, R. Novas ocorrências fossilíferas nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará. *Coleção Mossoroense*, 56, 1961, 11 p.
- EFREMOV, I. Taphonomy: a new branch of paleontology. *Pan-American Geologist*, [S.l.], v. 74, p. 81 – 93, 1940.
- HEDGES, R. E. M.; MILLARD, A. R. 1995. Measurements and Relationships of Diagenetic Alteration of Bone from Three Archaeological Sites. *Journal of Archaeological Science*. 22. 201-209.

- HOLLUND, H. I.; JANS, M. M; COLLINS, E. M. J.; H. KARS, JOOSTEN I.; KARS, S.M.: What Happened Here? Bone Histology as a Tool in Decoding the Postmortem Histories of Archaeological Bone from Castricum, The Netherlands. *Int. J. Osteoarchaeol.* 2011.
- HOLZ, M.; SIMÕES, M. G. Elementos fundamentais de Tafonomia. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2002, 321p.
- LYMAN, R. L. Vertebrate Taphonomy. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, 524 p.
- MARASCHIN, A.J.; MISUZAKI, A.M.; VASCONCELOS, P.M.; HINRICHIS, F.; DE-ROS, L.F.; ANJOS, S.M.C. Depositional Age Definition of the Açú Formation (Potiguar Basin, Northeastern Brazil) Through Ar-Ar Dating of Early-Authigenic Feldspar Overgrowths. *Pesquisas em Geociências*, V. 37(2), p.85-96. 2010.
- MARTINS, G. P. O. Fossilização de tafocenoses de vertebrados quaternários de depósitos de tanque do Nordeste do Brasil. 2019. 74f. Dissertação (Mestrado em Análise de Bacias e Faixas Móveis) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
- MATOS, R. M. D. The Northeast Brazilian Rift System. *Tectonics*, [S.l.], v. 11, p. 766 – 791, 1992.
- MELO, A. C. C. Evolução dos sistemas de falhas de borda do Rifte Potiguar com base em curvas de crescimento de falhas. Dissertação (mestrado em Geodinâmica e Geofísica com área de concentração em Geofísica.) - Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016. ix, 58f: il.
- PAES NETO, V.D.; Traços fósseis de insetos em ossos de vertebrados do Triássico médio e tardio do Brasil. / Voltaire Dutra Paes Neto. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016. [106 f.] il.
- PAES NETO, V.D., PARKINSON A. H., PRETTO F. A., SOARES M. B., SCHWANKED C., SCHULTZ C. L., KELLNER A.W.; Oldest evidence of osteophagic behavior by insects from the Triassic of Brazil. In: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 453 (2016) 30–41.
- PARKINSON A.H.; Traces of Insect Activity at Cooper's D Fossil Site (Cradle of Humankind, South Africa), *Ichnos*, 2016 3:3-4, 322-339.

PEDROSA JUNIOR, N.C., CASTRO, D.L. DE & MATOS, J.P.L. DE. Assinaturas Magnéticas e Gravimétricas do Arcabouço Estrutural da Bacia Potiguar Emersa, Ne do Brasil. In: Revista Brasileira de Geofísica, V. 28(2), 2010.

PEREIRA, P.V.L.G.C. Fauna de dinossauros do Cretáceo (Albiano-Cenomaniano) da Formação Açú, Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 2018, 126 p.

PEREIRA, P.V.L.G.d.C., VEIGA I.M.M.G, RIBEIRO T.B., CARDOZO R.H.B., CANDEIRO C.R.d.A., BERGQVIST L.P; The path of giants: a new occurrence of Rebbachisauridae (Dinosauria, Diplodocoidea) in the Açú formation, NE Brazil, and its paleobiogeographic implications. Journal of South American Earth Sciences 100 (2020) 102515.

PESSOA NETO, O.C. Estratigrafia de Sequências da Plataforma Mista Neogênica na Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira. In: Revista Brasileira de Geociências. V. 33(3), p.263-278. Setembro de 2003.

PESSOA NETO, O. C. et al. Bacia Potiguar. In: Boletim de Geociências da Petrobras. Rio de Janeiro: [s.n.], v. 15, n. 2, p. 357 – 369, Maio/Novembro 2007.

ROGERS, R.R.; EBERTH, D.A.; FIORILLO, A.R. Bonebeds: Genesis, Analysis and Paleobiological Significance. University of Chicago Press, Chicago, 2007.

SANTOS, M.F.C.F.; FLORENCIO, C.P.; REYES-PEREZ, Y.A.; BERGQVIST, L.P.; PORPINO, K.O.; UCHOA, A.F.; LIMA-FILHO, F.P. Dinossauros na Bacia Potiguar: o registro da primeira ocorrência. In: XXI Simpósio de Geologia do Nordeste - A Geologia e a Sociedade, 2005. XXI Simpósio de Geologia do Nordeste, 2005. v. XXI. p. 325-328.

SHIPMAN, P. Life History of a Fossil: An Introduction to Taphonomy and Paleocology. Cambridge: Harvard University Press. 1981a.

SHIPMAN, P.; BOSLER, W.; DAVIS, K. L. Butchering of giant geladas at an Ancheulian site. Current Anthropology, [S.I.], v. 46, p. 77 – 86, 1981.

SILVA, A. O. Fácies, paleoambientes e análise estratigráfica do Membro Mossoró (meso-cenomaniano/eo-turoniano) da Formação Açú na área do campo de redonda, Bacia Potiguar emersa, rio grande do norte. Ouro Preto: UFOP, 1991. 177f. Dissertação (Mestrado em Geologia).

- SILVA, LUCAS HENRIQUE MEDEIROS DA. Tafonomia e Paleoicnologia em Vertebrados Quaternários de Cavernas do Lajedo Da Escada, Baraúna, Rio Grande Do Norte / Luiz Henrique Medeiros Da Silva. – 2018. 119 f.: il.
- SIMÕES, M.G.; RODRIGUES, S.C.; BERTONI-MACHADO, C. Procedimentos metodológicos em Tafonomia. In: CARVALHO, I.S. (Ed.), Paleontologia: Conceitos e Métodos. Interciência, Rio de Janeiro, p. 413–430, 2010.
- VASCONCELOS, E.P., LIMA NETO, F.F & ROOS, S. 1990. Unidades de correlação da Formação Açu – Bacia Potiguar. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Natal, SBG. Anais, v.1, p.227-240.
- VEIGA, I.M.M.G., BERQGVIST L.P., FELIPPE, I.F.A.O. *Picking* na Bacia Potiguar: primeiros resultados. In: Livro de Resumos da Paleo RJ/ES 2016. P. 106-107.
- VEIGA, I.M.M.G., BERQGVIST L.P., BRITO, P.M. The fish assemblage of the Cretaceous (?Albian-Cenomanian) Acu Formation, Potiguar Basin, Northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 93 (2019) 162–173.
- VOORHIES, M. R. Taphonomy and population dynamics of an early Pliocene vertebrate fauna, Knox County, Nebraska. *Contributions to Geology*, [S.l.], v. 1, p. 1 – 69, 1969.