



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

João Felipe Oliveira Macena De SANTANA

Tafonomia da paleoictiofauna da Formação Tremembé (Oligoceno da Bacia de Taubaté), Sudeste do Brasil

Rio de Janeiro

2023

João Felipe Oliveira Macena de Santana

Tafonomia da paleoictiofauna da Formação Tremembé (Oligoceno da Bacia de Taubaté), Sudeste do Brasil

Dissertação apresentada, como requisito parcial 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. Marcus Vinícius Berao Ade

Coorientador: Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo-Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Francisco José de Figueiredo

Rio de Janeiro

2023

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

S232 Santana, João Felipe Oliveira Macena de.
Tafonomia da paleoictiofauna da Formação Tremembé
(Oligoceno da Bacia de Taubaté), Sudeste do Brasil / João
Felipe Oliveira Macena de Santana. – 2023.
88 f. : il.

Orientador: Marcus Vinícius Berao Ade.
Coorientadores: Hermínio Ismael de Araújo Júnior e
Francisco J. de Figueiredo.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio
de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Tafonomia – Teses. 2. Paleolago – Tremembé – São
Paulo – Teses. 3. Paleontologia - Oligoceno - Teses. 4.
Ictiofauna – Teses. I. Ade, Marcus Vinícius Berao. II. Araújo
Júnior, Hermínio Ismael de. III. Figueiredo, Francisco J. de. IV.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de
Geologia. V. Título.

CDU: 551.781.5

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 6390

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

Assinatura

Data

João Felipe Oliveira Macena de Santana

Tafonomia da paleoictiofauna da Formação Tremembé (Oligoceno da Bacia de Taubaté), Sudeste do Brasil

Dissertação apresentada, como requisito parcial 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 15 de junho de 2023.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Berao Ade

Faculdade de Geologia - UERJ

Coorientador: Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo-Júnior

Faculdade de Geologia - UERJ

Coorientador: Prof. Dr. Francisco J. de Figueiredo

Faculdade de Ciências Biológicas – UERJ

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Valéria Gallo da Silva

Faculdade de Ciências Biológicas - UERJ

Prof.^a Dr.^a Mácia Aparecida dos Reis Polck

Agência Nacional de Mineração - ANM

Prof.^a Dr.^a Aline Meneguci da Cunha

Faculdade de Geologia - UERJ

Rio de Janeiro

2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, mãe, avó (*in memoriam*) e irmãos, que sempre me apoiam e me incentivam a lutar pelos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha avó (*in memoriam*) e à minha mãe. Não existem palavras suficientes para expressar a minha gratidão por todo o amor e carinho que vocês me deram ao longo da minha vida. Desde pequeno, vocês me incentivaram a estudar e a lutar pelos meus sonhos, me inspirando a ser uma pessoa determinada e corajosa.

Aos meus queridos irmãos, Thayza, Amanda e Davi por sempre estarem ao meu lado durante toda a minha jornada. Não teria conseguido chegar até aqui sem o amor e o suporte de vocês.

Aos meus queridos orientadores, Marcus Vinícius Berao Ade, Hermínio Ismael e Francisco José Figueiredo pela grande parceria e oportunidade de desenvolver um trabalho estimulante e que me trouxe muitos ganhos pessoais e profissionais. Agradeço imensamente por toda a dedicação profissional de vocês, pela paciência e carinho em ensinar e transmitir conhecimentos.

Agradeço aos pesquisadores Dr. Rafael Costa da Silva do Museu de Ciências da Terra da CPRM-RJ; Dr. Fernando Luiz Killesse Salgado do Laboratório Coleção de Macrofósseis da UFRJ e ao Dr. Hugo Ricardo Secioso Santos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, amigos que eu fiz durante as minhas pesquisas, que dedicaram o seu tempo e colaboraram para o acesso às coleções de peixes fósseis.

Aos membros da banca, gostaria de expressar minha profunda gratidão pelo apoio e pela presença de vocês neste momento tão importante da minha vida profissional. A disposição em participar da banca da minha dissertação de mestrado é um sinal de grande generosidade e comprometimento com a formação de novos pesquisadores.

A minha querida e amada Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Não tenho palavras para expressar o quanto sou grato por ter tido a oportunidade de estudar nesta instituição de ensino que é um exemplo de inclusão e acolhimento. A UERJ foi muito mais do que uma universidade para mim, foi um espaço onde pude crescer como pessoa e como profissional.

Agradeço também a todos os professores pelos quais passei, que me ajudaram a me formar como cidadão e profissional, proporcionando momentos

inesquecíveis e experiências pelas quais serei eternamente grato e que levarei com muito carinho por toda a minha vida.

Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Geociências PPGG-UERJ e a todos os seus professores. Sou muito grato pela oportunidade e pelos conhecimentos adquiridos no meu mestrado.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha grande amiga Dra. Márcia Aparecida dos Reis Polck. Sou imensamente grato por todo incentivo e apoio que me ofereceu ao longo dos anos. Agradeço pela confiança depositada em mim e por ter me ajudado a crescer como pesquisador. Sua contribuição em minha vida acadêmica será sempre lembrada com carinho e admiração.

Agradeço ao meu amigo Mário Henrique Pereira Moraes pelo apoio e incentivo. Agradeço pela paciência nos momentos de desespero. Deixo meu caloroso agradecimento.

Não há ensino sem pesquisa e pesquisa sem ensino. Esses que-fazer-se encontram um no corpo do outro. Enquanto, ensino continuo buscando, reprocurando. Ensino porque busco, porque indaguei, porque indago e me indago. Pesquiso para constatar, constatando, intervenho, intervindo, educo e me educo. Pesquiso para conhecer o que ainda não conheço e comunicar ou anunciar a novidade.

Paulo Freire

RESUMO

SANTANA, João Felipe Oliveira Macena de. **Tafonomia da paleoictiofauna da Formação Tremembé (Oligoceno da Bacia de Taubaté), Sudeste do Brasil.** 2023. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A Formação Tremembé representa um sistema lacustre e os peixes são os vertebrados mais abundantes nos seus diferentes níveis de folhelhos e argilitos. A análise tafonômica desses peixes fósseis se faz necessária para o refinamento do conhecimento acerca dos aspectos ambientais, deposicionais e de preservação do Paleolago Tremembé. O presente estudo tem por objetivo inferir a história tafonômica dos peixes fósseis da Formação Tremembé, por meio da identificação e interpretação de assinaturas tafonômicas macroscópicas em elementos esqueléticos dos representantes da ictiofauna da Formação Tremembé. Foram analisados 491 espécimes de peixes fósseis depositados nas coleções paleontológicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Laboratório de Paleontologia da Faculdade de Geologia e do Departamento de Zoologia do Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Laboratório Coleção de Macrofósseis) e do Museu de Ciências da Terra (CPRM-RJ). Para análise do material foram avaliadas as seguintes assinaturas tafonômicas: (1) articulação geral do esqueleto; (2) grau de preservação das escamas; (3) grau de articulação dos ossos cranianos; (4) grau de articulação das nadadeiras peitorais, pélvica, dorsal e anal; (5) grau de articulação da nadadeira caudal; (6) grau de articulação das costelas pleurais; (7) decomposição de tecido mole; (8) padrões de disposição no espaço; (9) associação com outros restos fósseis e (10) fácies sedimentares. Os resultados indicaram que essa paleoictiofauna exibe três classes tafonômicas distintas: (1) espécimes completos, (2) cabeça e/ou nadadeira caudal desarticuladas e (3) fragmentos corporais. Na fácies folhelho negro ocorrem as melhores preservações de peixes fósseis devido as baixas ocorrências de fluviabilidade pós-morte, ocasionada pelo menor grau salinidade e altas pressões hidrostáticas. A segunda melhor preservação é encontrada na fácies folhelho cinza, devido as maiores ocorrências de fluviabilidade pós-morte, ocasionadas pelo maior grau de salinidade e baixas pressões hidrostática. A menor qualidade de preservação é encontrada na fácies argilito verde, devido a sua associação com ambientes de maior energia, regidos por correntes de lama. Mortandade em massa nas fácies folhelho negro e cinza é reforçada pela grande densidade e diversidade de peixes fósseis. Padrões de disposição no espaço concordante com a estratificação sedimentar e a litologia indicam que os peixes das fácies folhelho negro e folhelho cinza foram depositados junto com os sedimentos por processos de decantação, no próprio local de morte (*in situ*), com ausência de retrabalhamento.

Palavras-chave: paleolago; tafonomia; ictiofauna; mortandade em massa; oligoceno.

ABSTRACT

SANTANA, João Felipe Oliveira Macena de. **Taphonomy of the paleoichthyofauna of the Tremembé Formation (Oligocene of the Taubaté Basin), Southeastern Brazil**. 2023. 88 f. Dissertation (Master in Geosciences) – Faculty of Geology, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The Tremembé Formation represents a lacustrine system and fish are the most abundant vertebrates in its different shale and argillite levels. The taphonomic analysis of these fossil fishes is necessary for the refinement of knowledge about the environmental, depositional and preservation aspects of Paleolago Tremembé. The present study aims to infer the taphonomic history of fossil fish from the Tremembé Formation, through the identification and interpretation of macroscopic taphonomic signatures in skeletal elements of representatives of the ichthyofauna of the Tremembé Formation. A total of 491 specimens of fossil fish deposited in the paleontological collections of the State University of Rio de Janeiro (Laboratory of Paleontology of the Faculty of Geology and the Department of Zoology of the Institute of Biology Roberto Alcântara Gomes), of the Federal University of Rio de Janeiro (Laboratory of Macrofossil Collection) and the Museum of Earth Sciences (CPRM-RJ). For material analysis, the following taphonomic signatures were evaluated: (1) general articulation of the remains; (2) degree of scale preservation; (3) degree of articulation of the cranial bones; (4) degree of pectoral, pelvic, dorsal and anal fin articulation; (5) degree of articulation of the caudal fin; (6) degree of articulation of the pleural ribs; (7) soft tissue decomposition; (8) layout patterns in space; (9) association with other fossil remains and (10) sedimentary facies. The results indicated that this paleoichthyofauna exhibits three distinct taphonomic classes: (1) complete specimens, (2) disarticulated head and/or caudal fin, and (3) body fragments. The best preservation of fossil fish occurs in the black shale facies due to the low occurrences of post-mortem buoyancy, caused by the lower salinity and high hydrostatic pressures. The second best preservation is found in the gray shale facies, due to the higher occurrences of postmortem buoyancy, caused by the higher salinity and low hydrostatic pressures. The lowest quality of preservation is found in the green argillite facies, due to their association with higher energy environments, governed by mud currents. Mass mortality in the black and gray shale facies is reinforced by the high density and diversity of fossil fish. Arrangement patterns in space consistent with sedimentary stratification and lithology indicate that fish from the black shale and gray shale facies were deposited along with the sediments by decantation processes, at the place of death (in situ), with no reworking.

Keywords: paleolake; taphonomy; ichthyofauna; mass mortality; oligocene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Codificação das assinaturas tafonômicas utilizadas nas análises tafonômicas.....	16
Figura 2 –	Mapas de localização da Bacia de Taubaté.....	18
Figura 3 –	Frente de exploração da Extrativa Santa Fé/ Tremembé 2023...	19
Figura 4 –	Contexto geológico regional do <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil (RCSB).....	22
Figura 5 –	Resumo dos experimentos de Elder (1985) e Elder & Smith (1988) sobre os processos tafonômicos atuantes nas carcaças de peixes em diferentes condições ambientais.....	24
Figura 6 –	Sequência de desarticulação fundamentada nos experimentos de Elder (1985) com táxons de peixes atuais de água doce.....	25
Figura 7 –	Ilustração dos experimentos de Elder (1985) e Smith & Elder (1985) sobre as respostas de fluatibilidade de carcaças de peixes a várias temperaturas ao longo do tempo.....	27
Figura 8 –	Mapa do arcabouço estrutural da Bacia de Taubaté	31
Figura 9 –	Mapa geológico esquemático da Bacia de Taubaté.....	32
Figura 10 –	Litoestratigrafia e evolução tectono-sedimentar do segmento Central do RCSB.....	34
Figura 11 –	Modelo deposicional proposto para a Formação Tremembé.....	37
Figura 12 –	Ordem cronológica das principais inferências paleoclimáticas atribuídas à Formação Tremembé.....	39
Figura 13 –	Idades atribuídas à Formação Tremembé.....	40
Figura 14 –	Paleoictiofauna da Formação Tremembé.....	42

ABREVIATURAS E SIGLAS GERAIS

CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DG	Departamento de Geologia
ENSO	El Niño-Oscilação do Sul
MCT	Museu de Ciências da Terra
MCT.P	Coleção Paleontológica do Museu de Ciências da Terra
Pz.UERJ	Coleção Paleozoológica do Departamento de Zoologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro
RCSB	<i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil
SRCSB	Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil
SRSB	Sistema de Riftes da Serra do Mar
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UERJ.PV	Coleção de Paleovertebrados do Laboratório de Paleontologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRJ-DG	Coleção de Macrofósseis do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
1	OBJETIVOS	13
1.1	Objetivo geral	13
1.2	Objetivo específicos	13
2	MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1	Material	14
2.2	Métodos	14
3	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
4	CONTEXTO GEOLÓGICO	20
4.1	O Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB)	20
5	TAFONOMIA DE PEIXES	23
6	BACIA DE TAUBATÉ	30
6.1	Arcabouço estrutural	30
6.2	A Formação Tremembé	35
6.3	O sistema lacustre	38
6.4	Paleoclima da Formação Tremembé	39
6.5	Idade	39
7	PALEONTOLOGIA DA BACIA DE TAUBATÉ	41
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE A – Taphonomy of the paleoichthyofauna of the Tremembé Formation (Oligocene of the Taubaté Basin), Southeastern Brazil (artigo científico).....	57
	ANEXO A – Banco de dados com aspectos tafonômicos dos peixes fósseis das coleções estudadas.....	87
	ANEXO B – Submissão do artigo ao Journal of South American Earth Sciences.....	88

INTRODUÇÃO

A Bacia de Taubaté é uma das bacias sedimentares de idade cenozoica que está inserida no *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB). Esse rifte é de idade paleógena e desenvolveu-se no contexto tectônico da Província Mantiqueira, ao sul do Cráton do São Francisco, no domínio do segmento central da Faixa Ribeira, constituída por gnaisses, migmatitos e rochas metamórficas de baixo a médio grau, de idade arqueana a neoproterozoica e núcleos deformados durante o Ciclo Brasileiro, além de diversas suítes de rochas granitoides intrusivas, sin e pós-orogênicas, de idade neoproterozoica (Riccomini, 1989; Riccomini *et al.*, 2004).

A Formação Tremembé, da Bacia de Taubaté, que é o foco de estudo desse trabalho, representa um sistema lacustre, de idade oligocênica, composta predominantemente por uma sucessão sedimentar formada por rochas microclásticas (argilitos, siltitos e folhelhos) ricas em matéria orgânica (Torres-Ribeiro, 2004). Seu conteúdo paleontológico é constituído por microfósseis (palinomorfos, escolecodontes, espículas de esponja e ostracodes), icnofósseis, invertebrados (moluscos e artrópodes), vertebrados (peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos) e vegetais (pteridófitas, coníferas e angiospermas) preservados sob diferentes processos de fossilização (Carvalho & Fernandes 1989; Bernardes-De-Oliveira *et al.*, 2002; Melo 2007 e Couto-Ribeiro 2010).

Muito se conhece sobre o conteúdo paleontológico da Bacia de Taubaté, principalmente dos peixes fósseis da Formação Tremembé. No entanto, não há trabalhos científicos que abordem os processos tafonômicos que afetaram esses peixes fósseis. Diante disso, esse estudo visa fornecer novos dados, novos conhecimentos sobre os processos tafonômicos que atuaram na paleoictiofauna da Formação Tremembé.

A análise tafonômica desses peixes fósseis é de grande importância para o refinamento do conhecimento acerca dos aspectos ambientais, deposicionais e de preservação do Paleolago Tremembé (Oligoceno da Bacia de Taubaté).

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

Inferir a história tafonômica dos peixes fósseis da Formação Tremembé, visando ao refinamento do conhecimento acerca dos aspectos deposicionais e de preservação do Paleolago Tremembé.

1.2 Objetivos específicos

- a) Criação de um banco de dados, na forma de planilha do software Excel com as assinaturas tafonômicas dos peixes fósseis das coleções estudadas.
- b) Identificar e interpretar assinaturas tafonômicas macroscópicas em elementos esqueléticos de peixes da Formação Tremembé;
- c) Inferir aspectos paleoecológicos a partir de feições tafonômicas;

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O material estudado é composto por 491 espécimes de peixes fósseis que estão distribuídos nas coleções paleontológicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Laboratório de Paleontologia da Faculdade de Geologia sob a abreviatura UERJ.PV e do Departamento de Zoologia do Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes sob abreviatura Pz.UERJ), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Laboratório Coleção de Macrofósseis, sob a abreviação UFRJ-DG.P) e do Museu de Ciências da Terra (CPRM-RJ, sob a abreviação MCT.P). Os espécimes foram coletados ao longo da história de existência das citadas coleções e compõem um acervo importante do registro paleoictiológico da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté.

2.2 Métodos

A reconstrução da história tafonômica e dos aspectos paleoecológico da paleoictiofauna da Formação Tremembé foi baseada nos critérios definidos por Elder & Smith (1988), Wilson & Barton (1996), Whitmore (2003), Petra (2011) e Mancuso (2012). Esta metodologia avalia as seguintes assinaturas tafonômicas: (1) grau de articulação geral do esqueleto; (2) grau de preservação das escamas; (3) grau de articulação dos ossos do crânio (4) grau de articulação das nadadeiras peitorais, pélvica, dorsal e anal; (5) grau de articulação da nadadeira caudal; (6) grau de articulação das costelas; (7) grau de decomposição de tecido mole; (8) padrões de disposição no espaço físico; (9) associação com outros restos fósseis e (10) as fácies sedimentares associadas.

O grau de articulação geral do esqueleto varia de acordo com as condições ambientais (Behrensmeyer, 1991; Rogers, 1994), e foi dividido em (1) completamente articulados, ou seja, com as porções corporais posterior e anterior

bem preservadas, (2) razoável articulação, ou seja, com os ossos deslocados de sua posição anatômica original, mas ainda exibindo alguma articulação corporal e (3) exemplares completamente desarticulados.

O grau de preservação das escamas foi aferido de acordo com o número de escamas presentes, e é dividido em: (1) exemplares com maioria das escamas (de 50% a 100%) presente; (2) exemplares com poucas escamas (de 10 a 49%); (3) exemplares sem escamas preservadas (até 9%) e (4) espécies de peixes desprovidos de escamas (i.e., bagres).

O grau de articulação dos ossos cranianos foi definido da seguinte forma: (1) articulado, quando os ossos estão em sua posição original; (2) associado, quando os ossos apresentam algum grau de deslocamento da sua posição anatômica original; (3) desarticulado, quando os ossos estão deslocados de sua posição anatômica original e (4) não identificável, crânio ausente em razão a fragmentação ocorrida durante o processo de coleta.

O grau de articulação das nadadeiras peitorais, pélvica, dorsal e anal foi definido como: (1) articulado, no caso de estarem em excelente estado de preservação, sem sinais de desarticulação; (2) associado, quando apresentam algum grau de fragmentação e/ou distorção aparente; (3) nadadeiras desarticuladas e (4) não identificável, nadadeiras ausentes em razão a fragmentação ocorrida durante o processo de coleta.

Com relação ao grau de articulação da nadadeira caudal, a classificação foi feita da seguinte maneira: (1) articulada, com seus raios em posição anatômica original, (2) associada, se as nadadeiras apresentam modificações, raios deslocados, porém com um bom formato anatômico; (3) nadadeira desarticulada e (4) não identificável, nadadeira ausente em razão a fragmentação ocorrida durante o processo de coleta.

O grau de articulação das costelas pleurais foi aferido da seguinte forma: (1) articuladas, costelas em posição anatômica original, (2) associadas, costelas pleurais, com cerca de metade ou mais ainda atadas aos centros vertebrais e (3) desarticuladas.

Sinais de decomposição de tecidos moles foram analisados de acordo com a seguinte classificação: (1) espécimes de mínima decomposição, ou seja, em condição primária, com perda de até 30% de tecidos moles; (2) espécimes com razoável processo de decomposição, exibindo deterioração das nadadeiras, início de

desarticulação craniana e com perda de 30% a 60 % de tecidos moles; e por fim (3) peixes com evidentes sinais de decomposição, com perdas superiores a 60 % de tecidos moles.

Os padrões de disposição no espaço físico fazem referências de como os restos biológicos estão distribuídos dentro do pacote sedimentar. Sua geometria de distribuição concordante ou discordante com a estratificação sedimentar está diretamente relacionada com a presença de agentes perturbadores e com a energia do ambiente de sedimentação (Brett & Baird, 1986; Behrensmeyer, 1991; Elder & Smith, 1988; Rogers, 1994).

A análise de associação com outros restos fósseis foi realizada por meio de observações a olho nu e com auxílio de lupa de mão. Essa análise tem por objetivo observar fósseis e icnofósseis associados com a ictiofauna estudada.

Figura 1 - Codificação das assinaturas tafonômicas utilizadas nas análises tafonômicas

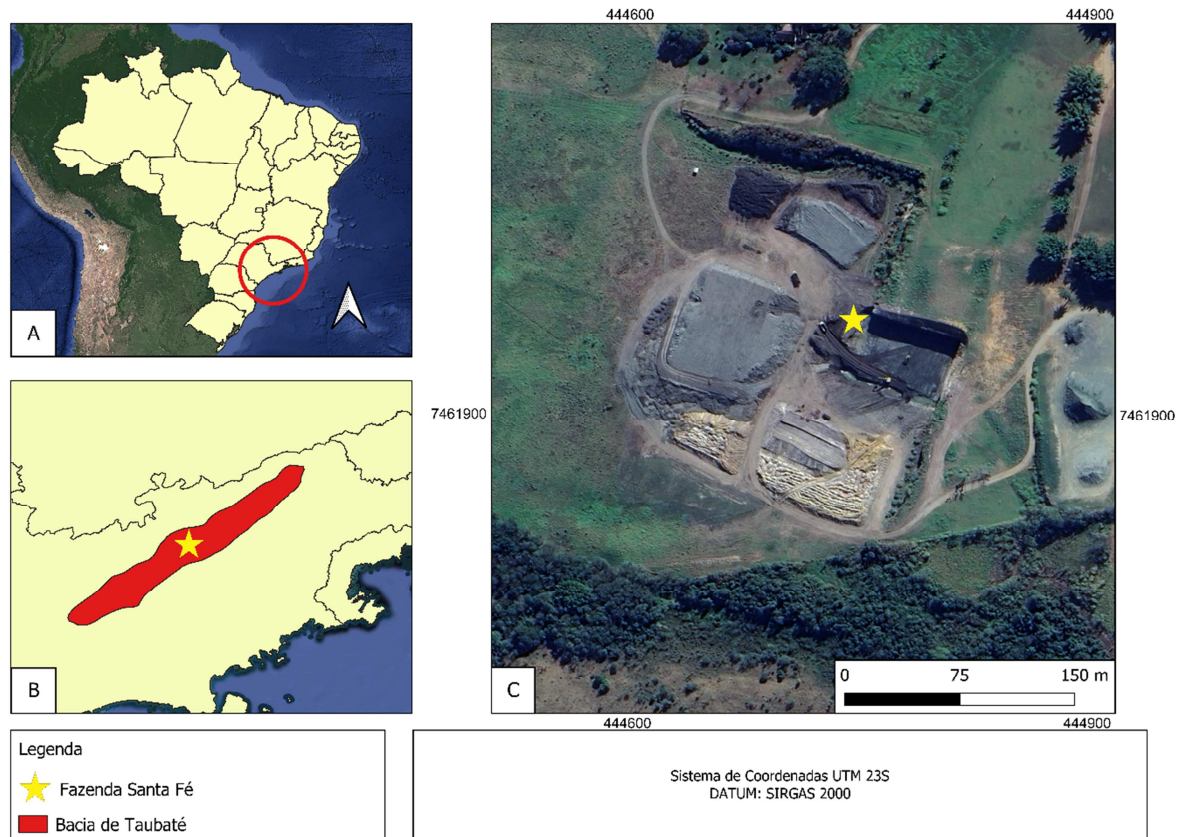
Assinatura tafonômica	Intervalo de valores	Significado das condições
Grau de articulação geral do esqueleto	1-3	1= completamente articulados 2= razoável articulação 3= completamente desarticulados
Grau de preservação das escamas	1-4	1= maioria das escamas presente 2= poucas escamas 3= sem escamas preservadas 4= peixes desprovidos de escamas (i.e., bagres)
Grau de articulação dos ossos do cranianos	1-4	1= articulado 2= associado 3= desarticulado 4= não identificável
Grau de articulação das nadadeiras peitorais, pélvica, dorsal e anal	1-4	1= articulado 2= associado 3= desarticulado 4= não identificável
Grau de articulação da nadadeira caudal	1-4	1= articulada 2= associada 3= desarticulada 4= não identificável
Grau de articulação das costelas	1-3	1= articuladas 2= associadas 3= desarticuladas
Grau de decomposição de tecido mole	1-3	1= mínima decomposição 2= razoável processo de decomposição 3= evidentes sinais de decomposição
Tetania	1-2	1= presente 2= ausente

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia de Taubaté está localizada no Estado de São Paulo, mais precisamente na mesorregião do Vale do Paraíba Paulista. Essa bacia apresenta uma geometria alongada de direção principal ENE-WSW e está encaixada em um extenso vale entre as Serras do Mar e da Mantiqueira.

Os peixes fósseis das coleções estudadas foram coletados na propriedade rural denominada Fazenda Santa Fé que está localizada no bairro do Padre Eterno, Município de Tremembé - SP. O depósito fossilífero está localizado a 590 m de altitude, nas coordenadas 22°56'59.19"S de latitude e 45°32'40.23"O de longitude, dentro da área de mineração da Sociedade Extrativa Santa Fé (Figura 2 e 3). Essa localidade fica aproximadamente a 1,5 km do entroncamento entre a avenida General Gabriel Fonseca com a rodovia Costa Cabral.

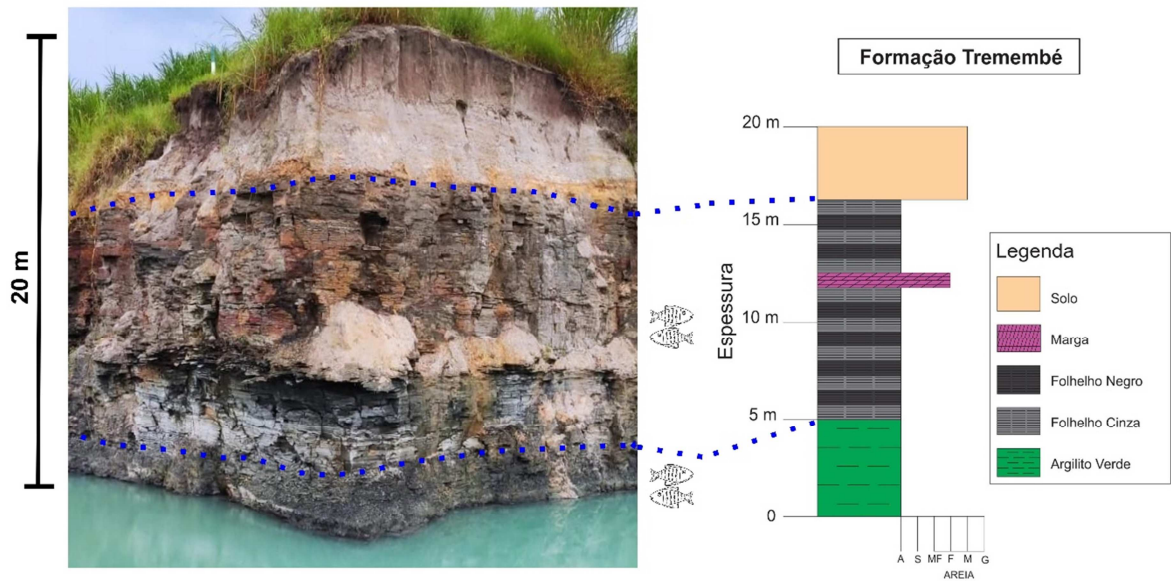
Figura 2 - Mapas de localização da Bacia de Taubaté



Legenda: A) Mapa do Brasil com círculo vermelho destacando a região onde se localiza a Bacia de Taubaté; B) Mapa da área da Bacia de Taubaté em vermelho e a estrela amarela mostra a localidade da propriedade rural Fazenda Santa Fé; C) Imagem de satélite mostrando a exploração argila que ocorre na propriedade rural Fazenda Santa Fé;

Fonte: O autor, 2023.

Figura 3 – Frente de exploração da Extrativa Santa Fé/ Tremembé 2023



Legenda: Foto do afloramento e perfil esquemático da frente de exploração da Extrativa Santa Fé, mostrando as litologia onde ocorrem os peixes fósseis.

Fonte: O autor, 2023.

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 O *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB)

A feição topograficamente deprimida e alongada, de idade paleógena, que tem aproximadamente 900 km de comprimento e que se estende entre as idades de Curitiba (PR) e Macaé (RJ), foi denominada por Almeida (1976) como Sistema de Riftes da Serra do Mar (SRSM) por Riccomini (1989) como *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) e, mais recentemente, como Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil (SRCSB), por Zalán & Oliveira (2005). Apesar das diferentes denominações que surgiram ao longo dos anos para a mesma estrutura tectônica, neste trabalho optou-se em utilizar a denominação RCSB.

O RCSB segue a linha de costa atual, do qual alcança o Oceano Atlântico em suas bordas sudoeste e nordeste e é constituído por regiões montanhosas soerguidas por grandes falhas normais de direção ENE a NE (serras do Mar, da Mantiqueira, da Carioca, de São Luiz do Purunã e de Minduri) e uma série de vales tectônicos alongados (Riccomini *et al.*, 2004) (Figura 4).

Essa feição geomorfológica é subdividida em três segmentos: (1) O segmento ocidental engloba a Bacia de Curitiba, as formações Alexandra e Pariquêra-Açu, e os grábens de Guaraqueçaba, Cananeia e Sete Barras. (2) O segmento central onde estão inseridas as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda, assim como os depósitos das regiões de Bonfim (localizada a sudeste da Bacia de Taubaté) e Cafundó (entre as bacias de Resende e Volta Redonda). (3) O segmento oriental compreende as bacias do Macacu, Itaboraí e o Gráben de Barra de São João (Riccomini 1989; Riccomini *et al.*, 2000a; Riccomini *et al.*, 2004).

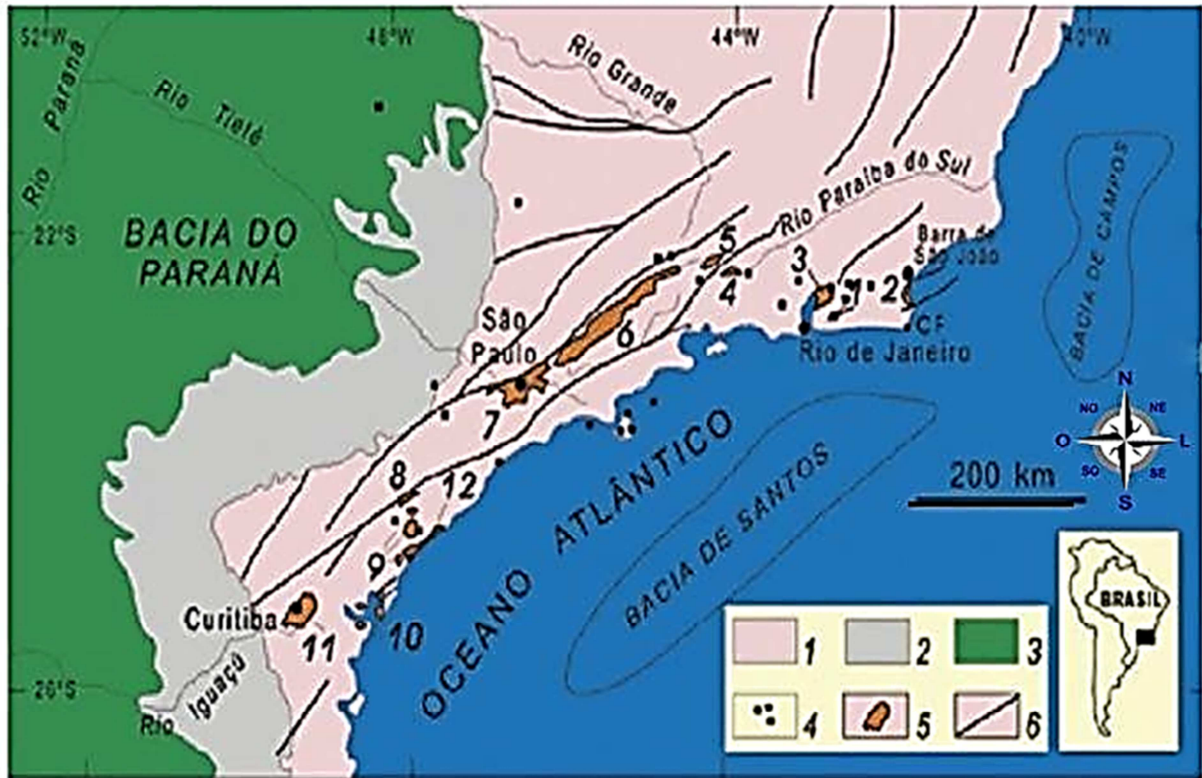
De acordo com Riccomini (1989) e Riccomini *et al.* (2004), o RCSB foi instalado sobre terrenos que tiveram sua origem relacionada ao Ciclo Brasileiro. Esses terrenos são denominados de Cinturão Ribeira (Almeida *et al.*, 1973), ou Cinturão de Dobramentos Ribeira (Hasui *et al.*, 1975), e são constituídos por gnaisse, migmatitos e rochas de baixo a médio grau metamórfico, de idade arqueana a neoproterozoica e diversas suítes intrusivas de granitoides, de idade neoproterozoica (Janasi & Ulbrich, 1991). Ocorrem também ao longo das bordas do

rift numerosos corpos ígneos alcalinos de idade variando do eocetáceo ao paleogeno. Esse cinturão é recortado por uma densa trama de zonas de cisalhamento dúcteis, dextrais, subverticais e profundas com orientação ENE a E-W que tiveram ativas até o final do Ciclo Brasileiro (Sadowski & Motidome, 1987; Trouw *et al.*, 2000).

Com relação ao mecanismo gerador, Riccomini *et al.*, (2004) propôs que o RCSB teve sua origem associada a sucessivos eventos tectônicos que ocorreram do Mesozoico ao Cenozoico. Durante o Jurássico Superior a região esteve sujeita aos fenômenos relacionados à Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967), que evoluíram sucessivamente para a ruptura continental e abertura do Oceano Atlântico Sul. A partir disso, zonas de cisalhamento neoproterozoicas do Cinturão Ribeira, foram reativadas como falhas normais no Paleógeno e transcorrentes no Neógeno, causaram a instalação e, posteriormente, a deformação das bacias sedimentares que constituem o RCSB (Riccomini *et al.*, 2004). Esses eventos tectônicos são marcados pelo vulcanismo basáltico eocretáceo da Formação Serra Geral e também por manifestações alcalinas dispostas em três pulsos: Eocretáceo, Neocretáceo a Paleoceno e Eoceno (Amaral *et al.*, 1967; Almeida, 1983; Riccomini *et al.*, 2004a, b).

Em várias localidades ao longo do RCSB, podem ser observadas evidências de movimentações neotectônicas. São movimentações relacionadas a um evento compressivo de direção NW-SE, do Pleistoceno tardio ao Holoceno, seguido sucessivamente, por extensão holocênica de direção E-W a NW-SE e compressão E-W (Riccomini *et al.*, 2004).

Figura 4 - Contexto geológico regional do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB)



Legenda: 1) Embasamento pré-cambriano; 2) rochas sedimentares paleozoicas da Bacia do Paraná; 3) rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozoico-cenozoico; 5) bacias cenozoicas do rift (1- Bacia de Itaboraí, 2- Gráben de Barra de São João, 3- Bacia do Macacu, 4- Bacia de Volta Redonda, 5- Bacia de Resende, 6- Bacia de Taubaté, 7- Bacia de São Paulo, 8- Graben de Sete Barras, 9- Formação Pariquera-Açu, 10- Formação Alexandra e Graben de Guaraqueçaba, 11- Bacia de Curitiba, 12- Graben de Cananéia); 6) zonas de cisalhamento pré-cambrianas, em parte reativadas durante o Mesozoico e Cenozoico.

Fonte: MELO *et al.*, (1985), RICCOMINI *et al.*, (1996) e FERRARI & SILVA (1997). Adaptada pelo autor.

5 TAFONOMIA DE PEIXES

Na tafonomia aquática, os peixes são ótimos organismos para realização de estudos tafonômicos devido a sua abundância nos ambientes aquáticos e também por apresentarem um grande número de elementos que compõem seu esqueleto, tornando-se sensíveis às diferentes condições deposicionais (Wilson, 1989).

De acordo com Elder (1985), os estudos de peixes de forma separada podem, muitas vezes, fornecer interpretações equivocadas sobre o paleoambiente. As interpretações paleoambientais são melhor inferidas por meio de análises conjuntas com outros organismos da fauna e da flora e também pelas estruturas sedimentares

Schafer (1972) desenvolveu o trabalho mais importante de tafonomia aquática, enfatizando a importância de observar diretamente os processos de morte, decomposição e sepultamento. Sua monografia sobre *Ecologia e Paleoecologia dos Ambientes Marinhos*, serve como um padrão de referência para as abordagens experimentais à paleoecologia. Suas pesquisas foram voltadas para a investigação da preservação de peixes do Mar do Norte, onde ele observou a flutuação em resposta à produção interna de gás e comentou sobre a perda de partes do corpo de carcaças flutuantes.

No meio aquático, o destino de uma carcaça de peixe é determinado pela temperatura e pressão. Em temperaturas superiores a 16°C (dependendo da pressão causada pela profundidade e também da velocidade de soterramento), a maior parte das carcaças flutua devido a liberação de gases de decomposição bacteriana, e a supressão de gás bacteriano só é possível em ambientes frios e profundos. Quando esses corpos chegam à superfície, eles se decompõem ainda mais e, posteriormente, caem aos poucos em regiões de águas profundas, ou derivam para ambientes de praia onde a energia das ondas desarticula, esfolia e espalha os ossos. Já em temperaturas inferiores a 16°C, a maioria das carcaças permanece no fundo até ser enterrada; elas podem sofrer perturbações por necrófagos, caso a concentração de oxigênio no hipolímnio seja favorável (Elder, 1985; Elder & Smith 1988) (Figura 5).

Figura 5 - Resumo dos experimentos de Elder (1985) e Elder & Smith (1988) sobre os processos tafonômicos atuantes nas carcaças de peixes em diferentes condições ambientais

Tafonomia de peixes em sistema lacustre		
Situação 1	Situação 2	Situação 3
A) Morte <ul style="list-style-type: none"> • Morte seletiva • Morte não seletiva B) Chegam ao fundo lacustre C) Processos de decomposição D) Flutuação E) Desarticulação F) Fragmentos corporais chegam ao fundo G) Transporte por corrente de fundo H) Soterramento I) Fossildiagênese	A) Morte <ul style="list-style-type: none"> • Morte seletiva • Morte não seletiva B) Chegam ao fundo lacustre C) Processos de decomposição D) Desarticulação E) Transporte por corrente de fundo F) Soterramento G) Fossildiagênese	A) Morte <ul style="list-style-type: none"> • Morte seletiva • Morte não seletiva B) Chegam ao fundo lacustre C) Soterramento Rápido D) Processos de decomposição E) Desarticulação F) Fossildiagênese
Temperatura da água > 16° C e baixas pressões	Temperatura da água < 16° C e baixas pressões Temperatura da água > 16° C e altas pressões	Temperatura da água > 16° C e baixas pressões
Desarticulação é influenciada por: 1) Tipo de articulação; 2) Ambiente de morte e 3) Ações de necrófagos		

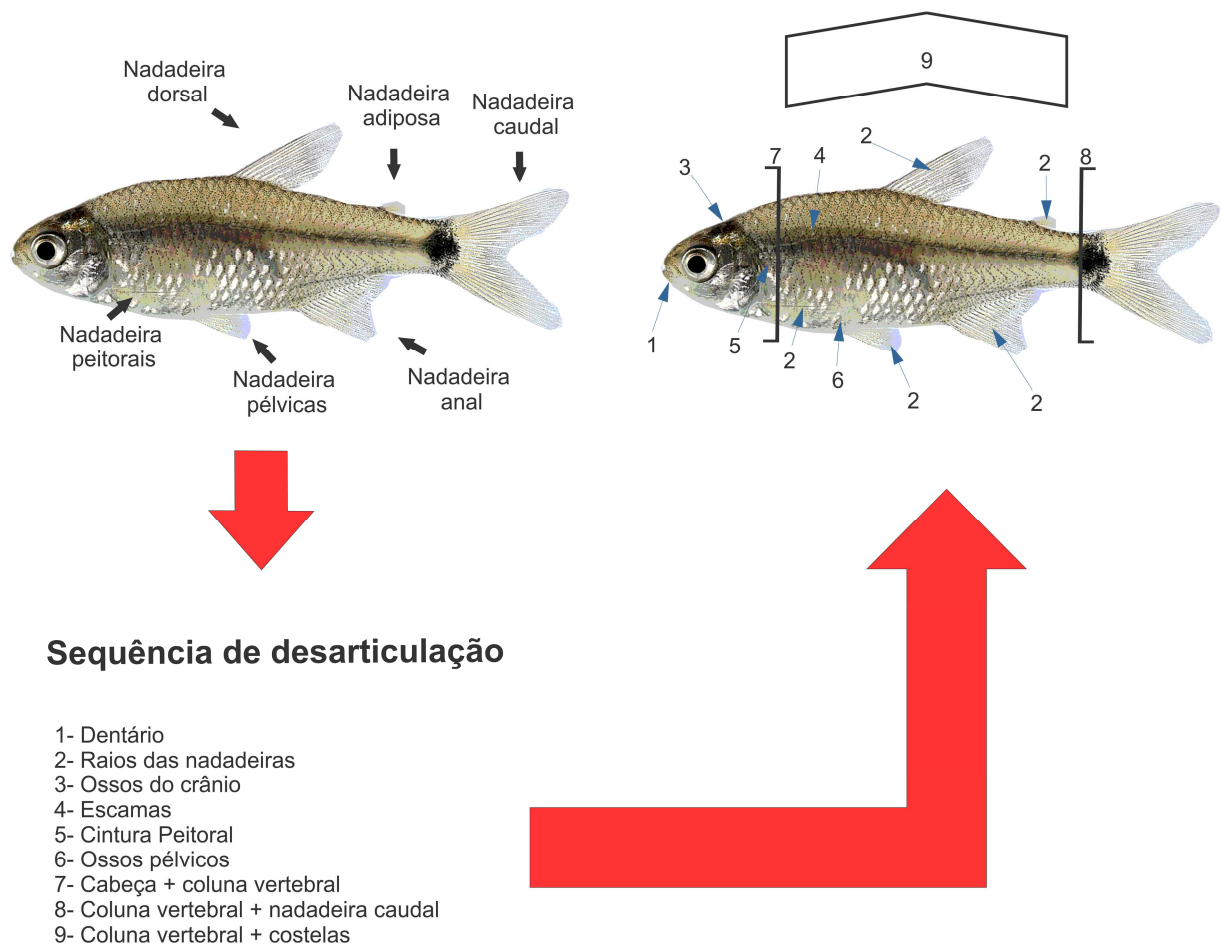
Fonte: O autor, 2023.

No estudo tafonômico de peixes, a sequência de desarticulação é um fator importante, pois fornece informações que contribuem para o entendimento dos processos e eventos que aconteceram no período pós-morte / pré-soterramento. McGrew (1975), Elder (1985), Elder & Smith (1988), Wilson & Barton (1996), Whitmore (2003) e Barton & Wilson (2005) notaram que a cabeça é primeira região do peixe que se decompõe e se desarticula devido a ação microbiana.

Elder (1985) realizou uma série de experimentos com táxons de peixes atuais de água doce (i.e., Catostomidae, Cyprinidae, Centrarchidae, Cottidae, Percidae, Ictaluridae, Cichlidae, Poeciliidae e Goodeidae) para determinar o tempo de desarticulação e os fatores que influenciam neste processo. Nesses experimentos, nas condições de águas com temperatura entre 16° e 25°C, sem a presença de necrófagos, foi observado que algumas semanas após a morte do peixe, os ossos da maxila inferior foram os primeiros a desarticular juntamente com os raios das nadadeiras. Posteriormente, ocorre a perda do maxilar, pré-maxilar, escamas, ossos

operculares, cintura peitoral, suspensório mandibular, osso pélvico e arco hioide. Logo após esses processos, acontecem as perdas de regiões do corpo, devido à desarticulação entre crânio e coluna vertebral, e entre coluna vertebral e pedúnculo caudal. O último conjunto de peças a sofrer desarticulação é a região mediana do corpo, ela permanece com algumas costelas pleurais e partes de tecidos moles unidos à coluna vertebral (Figura 6). A partir disso, o corpo do peixe perde a flutuabilidade e atinge o fundo.

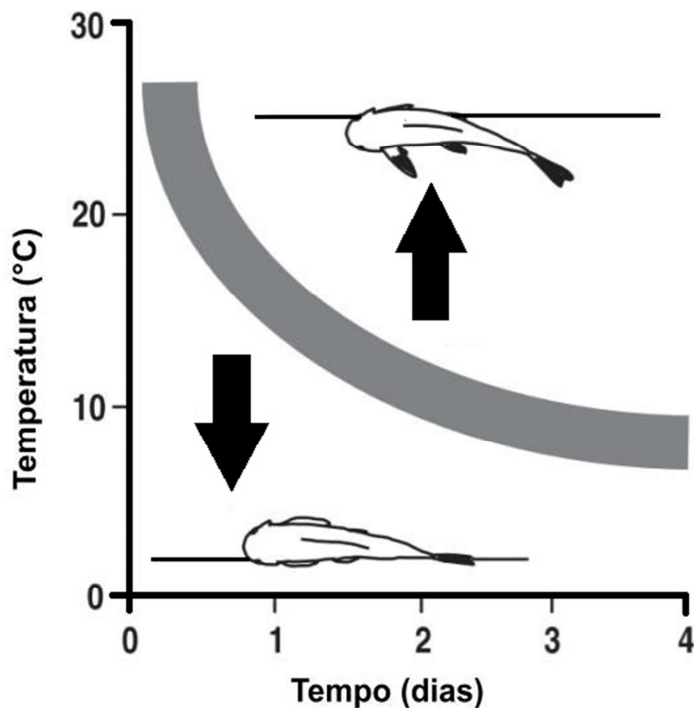
Figura 6 – Sequência de desarticulação fundamentada nos experimentos de Elder (1985) com táxons de peixes atuais de água doce



Fonte: MALABARBA; BERTACO, 2020. Adaptada pelo autor, 2023.

Processos de flutuabilidade parcial também ocorrem quando uma carcaça de peixe é submetida a condições mais frias, a uma temperatura próxima da faixa cinza (Figura 7). Nessas condições, os gases liberados pelos processos de decomposição são suficientes apenas para levantar o abdômen do sedimento, deixando a cabeça e a nadadeira caudal no substrato (Elder, 1985; Smith & Elder, 1985). Com o passar do tempo, à medida que esses gases de decomposição são liberados da carcaça, suas costelas e vértebras atingem o substrato novamente. O conjunto de morte correspondente a essas condições é caracterizado por esqueletos completos ou parcialmente completos, porém com as costelas e vértebras desarticuladas.

Figura 7 - Ilustração dos experimentos de Elder (1985) e Smith & Elder (1985) sobre as respostas de flutuabilidade de carcaças de peixes a várias temperaturas ao longo do tempo



Legenda: A área acima da linha cinza indica as condições sob as quais as carcaças dos peixes flutuam na superfície; as áreas abaixo da linha cinza indicam as condições em que as carcaças afundam; as áreas dentro da linha cinza indicam condições sob as quais as carcaças flutuam quase naturalmente e levantam parcialmente o sedimento (flutuação parcial).

Fonte: BARTON; WILSON, 2005. Adaptada pelo autor, 2023.

Elder (1985) em seus experimentos que simulam ambientes sedimentares influenciados por fluxo de correntes e turbulência, observou que no registro fossilífero de peixes esses movimentos podem ser indicados por esqueletos intactos com elementos das nadadeiras perturbados ou ausentes. Ao contrário disso, em ambientes com baixa taxa de soterramento, a falta de perturbação das nadadeiras é um indicativo de águas calmas e tranquilas. A quantificação da informação de um esqueleto de peixe disperso é realizada pela medição das distâncias entre os ossos com relação a uma posição inicial conhecida. Esse processo de correlação das posições finais dos ossos com uma posição inicial conhecida, nos fornece informações sobre a energia do ambiente, direção e heterogeneidade de transporte dos bioclastos e a taxa de soterramento.

Quando um peixe ósseo em estágio de decomposição sofre influência de corrente de fundo, é observado no plano de acamamento, dispersão direcional de escamas e raios de nadadeiras (i.e., lepidotríquias), ou até mesmo uma indicação clara de correlação de distâncias entre ossos deslocados. Em sedimentos não escavados, essas evidências também indicam que o peixe não foi soterrado durante o período de decomposição (Elder, 1985; Elder & Smith, 1988).

A presença ou ausência de organismos necrófagos pode fornecer informações sobre a concentração de oxigênio no ambiente lacustre. Elder (1985), em seus experimentos realizados com necrófagos (gastrópodes), observou que esses organismos, quando atuam sobre carcaças, causam dispersão dos ossos dos peixes em todas as direções e sem orientação preferencial. Ele observou que a distância de deslocamento não está correlacionada entre os ossos pareados, nem parece estar correlacionada com o caráter hidrodinâmico do osso. A ausência desse padrão pode indicar condições inadequadas para necrófagos, como águas de fundo anóxicas. Além disso, experimentos mostram que águas em condição de anoxia não impedem a decomposição ou flutuação, mas podem impedir a eliminação por necrófagos.

De acordo com Elder (1985), quando o espécime de peixe exibe um padrão de dispersão multidirecional e muita perda de elementos hidrodinamicamente leves, como lepidotríquias e escamas, é uma evidência de que o espécime sofreu influência de corrente de fundo e ações de necrófagos. A ação de necrófagos perturba o esqueleto, dificultando a correlação entre os ossos. Em contraste, uma

corrente agindo após a ação de necrófagos, provavelmente não cria um padrão de correlação de distância entre os ossos já dispersos.

McGrew (1975), em seus estudos tafonômicos em ambientes lacustres eocênicos, observou que peixes em camadas de mortandade em massa não são desarticulados. Ele propôs que a mortandade em massa é causada por um evento, como por exemplo, alta proliferação de algas e que a alta preservação está ligada diretamente ao soterramento rápido após esse evento.

Em ambientes lacustres, a alta circulação de água e nutrientes pode ser seguida por uma alta proliferação de algas. De acordo com Prescott (1948), as algas podem liberar metabólitos que podem se tornar tóxicos para os peixes e causarem as suas mortes.

Nos estudos tafonômicos de peixes, a oxigenação da água, salinidade, alcalinidade e abruptas mudanças de temperaturas podem ser indicadas pelo grau de tetania (Elder 1985; Smith & Elder 1985). A tetania é um distúrbio causado por contrações musculares intermitentes que ocorre após morte súbita e traumática, que frequentemente culmina com abertura bucal pronunciada, nadadeiras expandidas ou em forma de leque endurecidas e, menos comumente, corpo arqueado. Evidência de tetania é considerada um indicador de condições anóxicas ou hipóxicas em ambientes aquáticos, embora também possa ocorrer devido ao choque térmico ou envenenamento por toxinas biogênicas (Schaeffer & Mangus, 1976).

Durante as fases bioestratinômica e fossilização, os peixes estão sujeitos a diversos processos que invariavelmente podem causar perdas de tecidos moles. Nos diversos ambientes de sedimentação, feições denominadas de *estruturas sedimentares induzidas por ação microbiana* (MISS) (Noffke, 2009), podem aumentar a probabilidade de preservação dos tecidos moles dos organismos. Esse modo de preservação é frequentemente ligado à presença de biofilmes (Gall *et al.*, 1985; Gall 1990; Seilacher 1990; Behrensmeyer 2000; Briggs 2003; O'Brien *et al.*, 2008; McNamara *et al.*, 2009; Buscalioni & Fregenal-Martínez 2010; Pawlowska *et al.*, 2013).

No ambiente lacustre, a preservação excepcional por atividade bacteriana pode ocorrer pela formação de esteiras microbianas ("microbial mats"). Essas esteiras são comunidades bentônicas complexas organizadas como microecossistemas milimétricos de múltiplas camadas distintas, frequentemente dominadas por cianobactérias (Cohen 1989; Fregenal-Martínez & Melendez 2000).

Essa organização em esteiras cria gradientes físicos e químicos que contribuem para a preservação de tecidos moles (Wierzchos *et al.*, 1996; Hubas *et al.*, 2011).

6 BACIA DE TAUBATÉ

6.1 Arcabouço estrutural

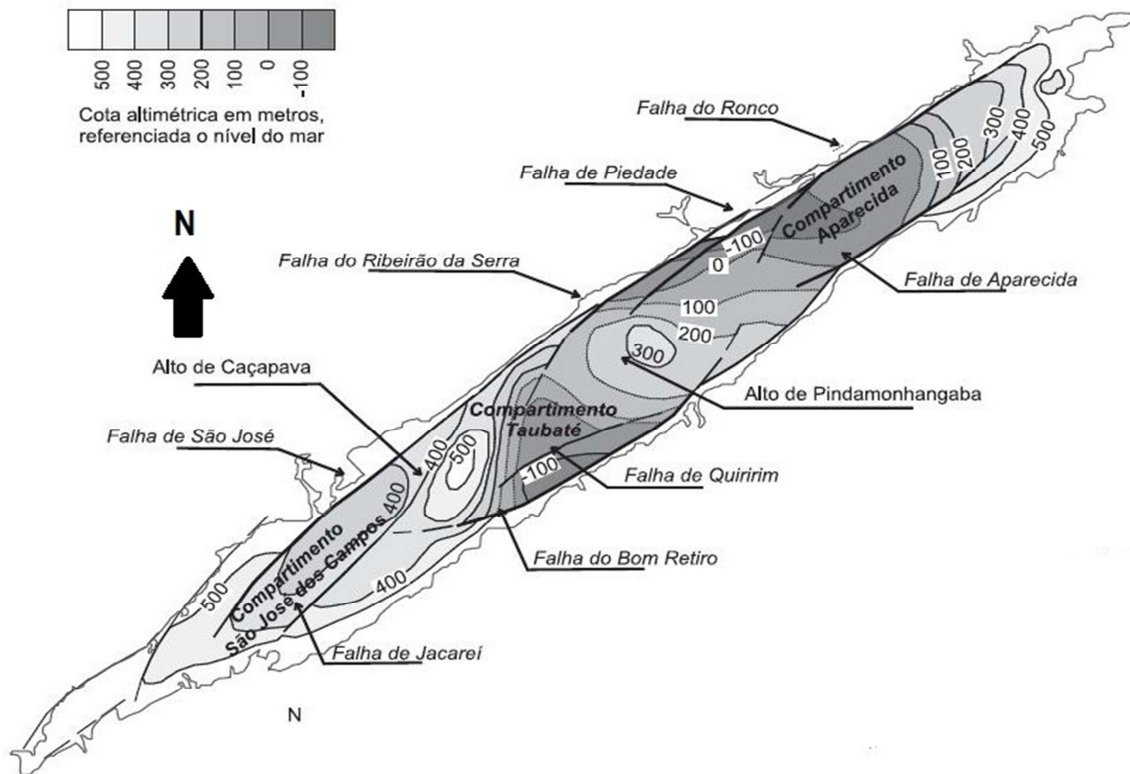
Como mencionado anteriormente, a Bacia de Taubaté faz parte de um conjunto de bacias sedimentares de idades cenozoicas, pertencentes a uma grande estrutura tectônicas de direção ENE denominada por Riccomini (1989) como *Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB)*. O embasamento dessa bacia tafrogênica é constituído por rochas ígneas e metamórficas pertencentes ao Cinturão de Dobramentos Ribeira, cujas idades variam desde o Paleoproterozoico até o Neoproterozoico (Hasui & Ponçano, 1978).

A partir de dados de campos, poços e sísmica, diversos autores (Dae, 1977; Hasui & Ponçano, 1978; Marques, 1990), definiram os altos estruturais da Bacia de Taubaté e traçaram o contorno do topo estrutural do seu embasamento. Mais recentemente, com dados gravimétricos, Fernandes & Chang (2003) definiram dois altos estruturais ou zonas de transferência denominadas de altos de Caçapava e de Pindamonhangaba que subdividiram a bacia nos compartimentos: (a) São José dos Campos; (b) Taubaté e (c) Compartimento Aparecida (Figura 8).

Segundo Riccomini (1989), a Bacia de Taubaté é a maior depressão tectônica do segmento central do RCSB. É constituída por um arcabouço sedimentar de origem continental, que teve duas fases deposicionais: a primeira fase, concomitante ao rifte, refere-se ao Grupo Taubaté, que é formado pelas formações Resende, Tremembé e São Paulo, e a segunda, posterior à tectônica diastrófica, constituída pela Formação Pindamonhangaba e depósitos aluviais e coluviais (Figuras 9 e 10).

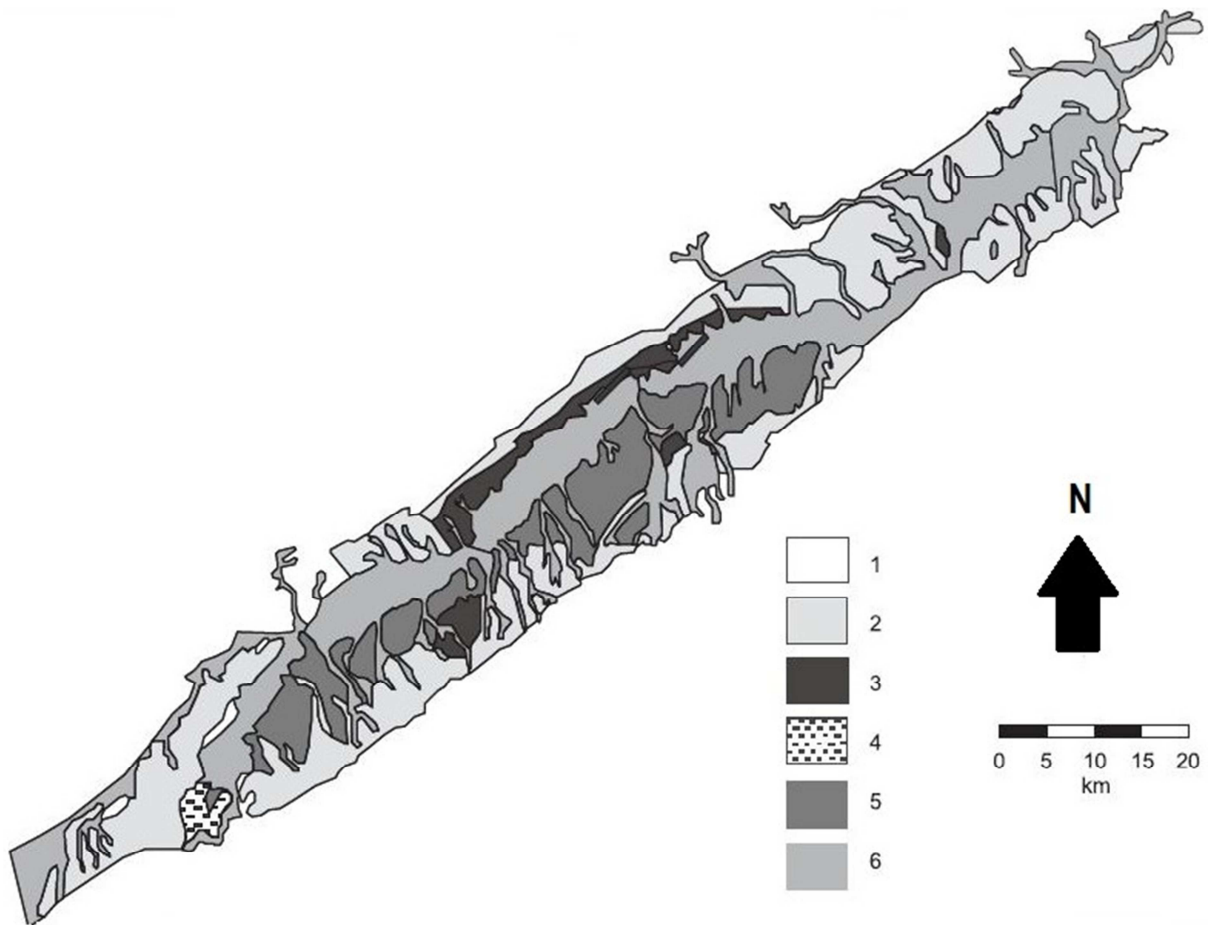
O arranjo das sequências sedimentares depositadas durante a fase sintectônica é formado por um sistema de leques aluviais depositado sobre uma planície fluvial de rio entrelaçados, formando os depósitos da base e das regiões laterais da bacia (Formação Resende). Já na porção central da bacia, são encontrados depósitos que representam um sistema lacustre (Formação Tremembé). Ocorrem também depósitos associados a sistema fluvial meandrante (Formação São Paulo) (Carvalho *et al.*, 2011).

Figura 8 - Mapa do arcabouço estrutural da Bacia de Taubaté



Fonte: FERNANDES; CHANG, 2003. Adaptada pelo autor, 2023.

Figura 9 - Mapa geológico esquemático da Bacia de Taubaté



Legenda: (1) Rochas do embasamento; (2) Formação Resende; (3) Formação Tremembé;
 (4) Formação São Paulo; (5) Formação Pindamonhangaba;
 (6) sedimentos quaternários.

Fonte: FERNANDES; CHANG, 2003. Adaptada pelo autor, 2023.

As sequências depositadas na segunda fase de sedimentação, sequências pós diastrofismo, é representada por depósitos associados a um sistema fluvial meandrante que se instalou na porção central da Bacia (Formação Pindamonhangaba), ocorre também uma diversidade de depósitos colúvio-aluviais de idade pleistocênica (Carvalho *et al.*, 2011).

Os depósitos da Formação Resende representam o principal preenchimento sedimentar da Bacia de Taubaté, sendo a maior parte deles paleogênicos. Essa unidade é constituída por conglomerados, arenitos feldspáticos e lamitos referentes às porções proximais, medianas e distais dos leques aluviais, e também é constituída pelas mesmas litologias associadas a sistemas fluviais entrelaçados (Riccomini *et al.*, 2004).

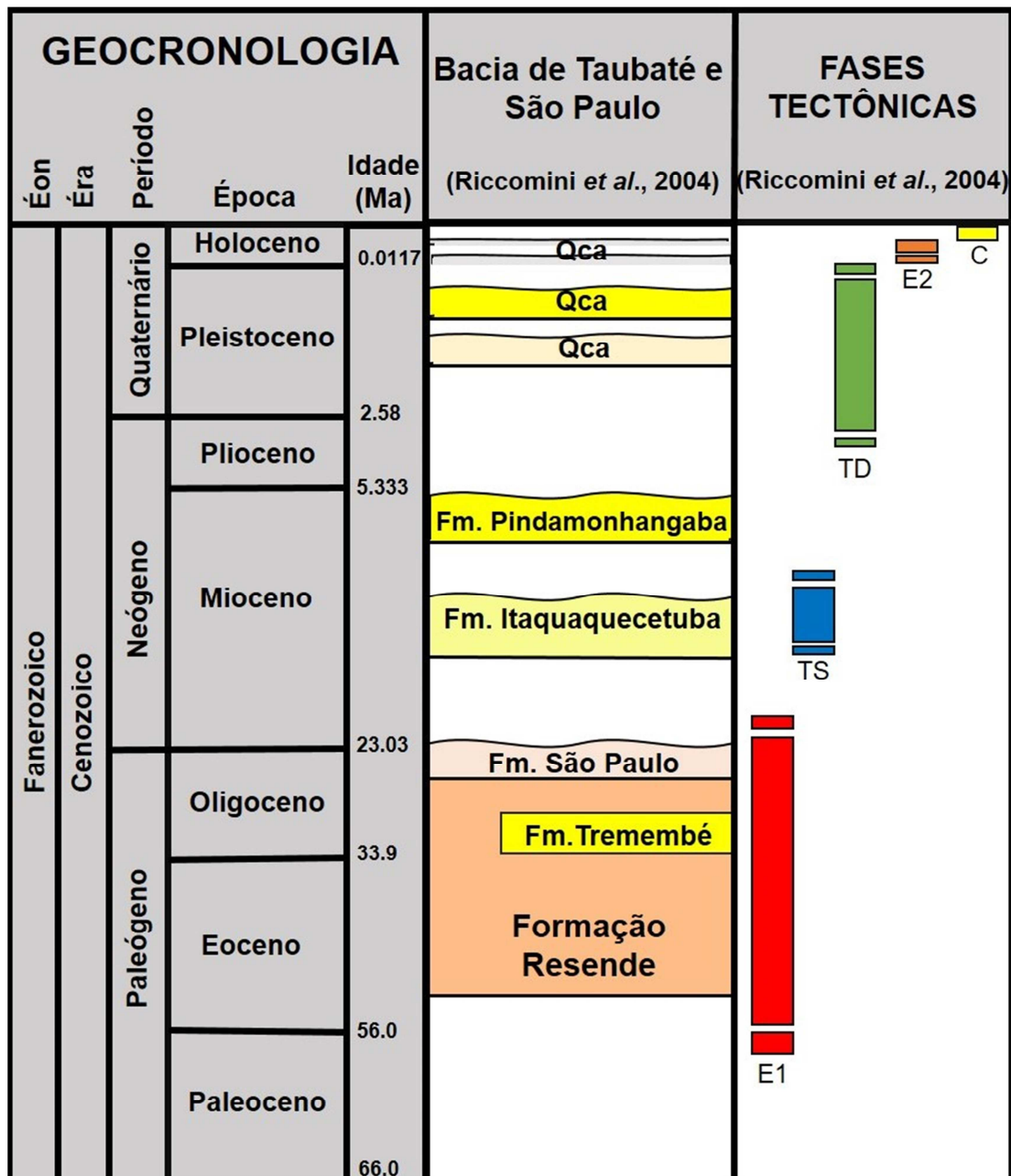
Os leques aluviais da Formação Resende apresentam uma gradação vertical e lateral para o sistema lacustre da Formação Tremembé (Riccomini & Coimbra, 1992).

A Formação Tremembé é constituída por argilitos, folhelhos, margas, dolomitos e arenitos (Riccomini *et al.*, 2004).

O topo do Grupo Taubaté é representado pela Formação São Paulo, que é constituída por depósitos de arenitos e lamitos bastante pedogenizados associados a sistemas fluviais meandrantés (Riccomini *et al.*, 2004).

A Formação Pindamonhangaba está associada a um sistema fluvial meandrante que ocorre de forma discordante sobre os depósitos da Formação Tremembé, Resende e São Paulo (Carvalho *et al.*, 2011).

Figura 10 - Litoestratigrafia e evolução tectono-sedimentar do Segmento Central do RCSB



Legenda: Estratigrafia e fases tectônicas das bacias de São Paulo e Taubaté. E1- distensão NW-SE; TS – transcorrência sinistral E-W; TD- transcorrência destal E-W; E2- distensão NW-SE; C compressão E-W.

Fonte: NEGRÃO *et al.*, 2020. Adaptada pelo autor, 2023.

6.2 A Formação Tremembé

Segundo Riccomini (1989), a Formação Tremembé, originalmente definida por Almeida (1958), é uma unidade litoestratigráfica, de idade oligocênica que representa um sistema lacustre do tipo *Playa-Lake*, desenvolvido na porção central da Bacia de Taubaté e de forma mais restrita na Bacia de São Paulo, ambas integrantes do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB).

O sistema lacustre Tremembé foi interpretado por Torres-Ribeiro (2004) como constituído por uma lâmina d'água relativamente rasa (5 a 10 m), na qual foram depositadas argilas em condição de baixa energia com clara contribuição eólica (Figura 11).

A partir de análise de fácies e sistemas deposicionais, Riccomini (1989) elaborou uma revisão litoestratigráfica para rochas das bacias de Taubaté, São Paulo, Resende e Volta Redonda, onde posicionou estratigraficamente a Formação Tremembé na porção intermediária do Grupo Taubaté, interdigitando-se lateral e verticalmente com os depósitos eocênicos da Formação Resende.

Na Formação Tremembé, a partir de dados de sondagens e afloramentos, são reconhecidas cinco fácies sedimentares (1) argilitos verdes maciços, que geralmente apresentam espessura métrica, às vezes exibindo gretas de contração e concreções calcíferas e frequentemente fossilífero; (2) ritmitos de folhelhos papiráceos e margas, onde os folhelhos são de cor castanha a cinza escuro, localmente papiráceos e fossilíferos e às vezes pirobetuminosos e as margas são ricas em ostracodes e podem gradar para calcários; (3) dolomitos de espessura decimétricas com textura microesparítica (dolomicroesparito) e coloração verde-acinzentada a branca, constituindo camadas tabulares intercaladas nos argilitos verdes maciços; (4) arenito finos a médios com estratificações cruzadas de grande porte, com direção de transporte para o centro da bacia; (5) arenito grosso conglomerático, de espessura decimétrica a métrica em forma de camadas tabulares de grande persistência lateral, exibem gradação normal para arenitos quartzosos finos, com laminações cavalgantes (Riccomini, 1989, Riccomini *et al.*, 1996).

Na Bacia de Taubaté, as fácies argilitos verdes maciços, folhelhos e dolomitos estão distribuídas em sua porção central. Riccomini (1989) atribuiu a passagem sucessiva de dolomito para argilitos verdes e folhelhos pirobetuminosos ao aumento

da profundidade da lâmina d'água do Paleolago Tremembé. Os dolomitos representam momentos de alta salinidade no antigo lago, depositados em períodos em que vigoravam altas taxas de evaporação, conforme indicado por Sant'Anna (1999) devido aos valores positivos de $\delta^{13}\text{C}$ (+10 a +12%) e $\delta^{18}\text{O}$ (+2,8 a +3,9%) obtidos para dolomita.

De acordo com Riccomini (1989), a fácies argilito verde maciço foram depositadas em períodos em que o nível da lâmina d'água do antigo lago estava baixa. Os folhelhos correspondem à sedimentação em épocas de lâmina d'água espessa.

A fácies arenitos finos a médios com estratificações cruzadas de grande porte tiveram sua origem associada a depósitos de leques deltaicos que chegaram exclusivamente no lago pela borda norte da Bacia de Taubaté. Já a fácies arenitos tabulares distribuem-se nas bordas do lago e representam inunditos originados por processos do tipo *sheetflood*, ocasionados por enchentes esporádicas (Riccomini, 1989).

Sugio & Vespucci (1985) interpretaram a fácies arenitos tabulares que ocorrem intercalados nos argilitos verdes maciços, no centro da bacia, como turbiditos lacustres.

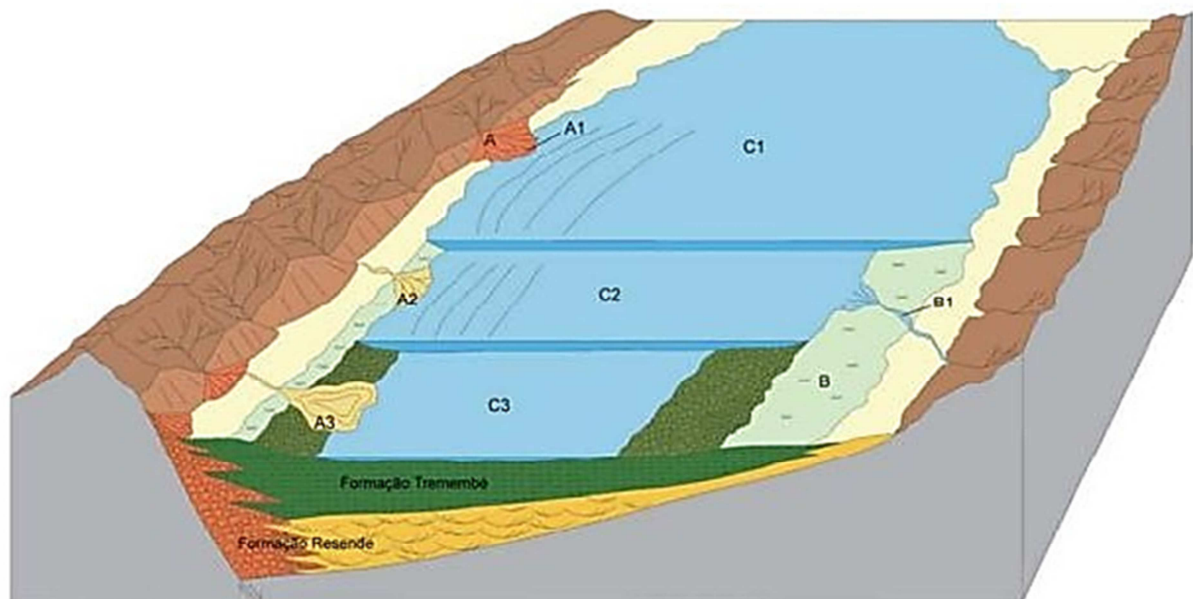
Os folhelhos papiráceos da Formação Tremembé apresentam alternâncias de finas lâminas claras e escuras. Essas alternâncias foram reconhecidas por Riccomini (1993) como de caráter cíclico, de natureza várvida, representando depósitos de inverno e verão, respectivamente.

Análises faciológicas mostraram que esse lago apresentava grande flutuação da lâmina d'água, ora muito fundo, ora muito raso que conseqüentemente contribui para o aumento da salinidade em períodos mais rasos. Esses períodos mais rasos causavam o aumento da concentração de carbonato de cálcio na água, observada na grande concentração de ostracodes (Torres-Ribeiro, 2004).

Devido aos altos teores de matéria orgânica, do conteúdo palinológico, da razão C/S e da grande quantidade de matéria orgânica amorfa, Torres-Ribeiro (2004) interpretou que se tratava de um lago estratificado devido à salinidade, que o fundo era normalmente anóxico, intercalado com fases oxidantes/suboxidantes, que propiciavam o desenvolvimento de esteiras algálicas e a bioturbação por anelídeos (icnogênero *Planolites*).

De acordo com estudos recentes realizados por Sousa *et al.*, (2020), as fácies folhelho negro e folhelho cinza apresentam uma grande concentração de microalgas dos gêneros *Pediastrum* e *Botryococcus*. Na fácies folhelho negro, que representa períodos de maior espessura da lâmina d'água, as algas do gênero *Botryococcus* predominam sobre as algas do gênero *Pediastrum*. Já na fácies folhelho cinza, que representa períodos de lâmina d'água mais rasa, as algas do gênero *Pediastrum* predominam sobre as algas do gênero *Botryococcus*. A proliferação dessas algas em sistemas lacustres requer alta luminosidade, uma grande concentração de matéria orgânica, sais inorgânicos e temperatura da água entre os 20 e 30°C (Chisti, 2007; Patil *et al.*, 2008).

Figura 11 - Modelo deposicional proposto para a Formação Tremembé



Legenda: (A) Leques aluviais da Formação Resende, (A1) com leque deltaico e (A2) lobos deltaicos distais; (B) planície lamosa/paludal (B1) com canais rasos e lago com nível d'água variável, ora recobrendo a planície lamosa ora expondo o substrato, onde se desenvolvem gretas-de-contração. Eventuais fluxos gravitacionais distais recobriam essa planície exposta.

Fonte: TORRES-RIBEIRO, 2004.

6.3 O sistema lacustre

A Formação Tremembé representa um sistema lacustre fechado, de origem tectônica, oligomítico e eutrófico, depositada em clima semiárido (Torres-Ribeiro, 2004).

O sistema deposicional lacustre pode apresentar uma variedade de subambientes com diferentes níveis de profundidade da lâmina d'água, como por exemplo, praias, pântanos, deltas, leques deltaicos, planícies lamosas, planícies salíferas entre outros. Além disso, eles podem conter diversas condições físicas, químicas e biológicas, como é o caso de correntes de fundo, estratificação da coluna d'água, oxigenação, pH, salinidade entre outras, que dependem da dinâmica em que o lago está inserido (Torres-Ribeiro & Borghi, 2007).

Nesse sistema deposicional os subambientes são restritos geograficamente, ou seja, não interagem e evoluem entre si de forma contínua e previsível. Devido a essas características, um determinado afloramento pode apresentar uma variação faciológica diferente em comparação a outro afloramento não muito distante (Torres-Ribeiro & Borghi, 2007).

Na dinâmica dos sistemas lacustres ocorre o fenômeno de estratificação térmica da coluna d'água. Esse fenômeno pode ser causado por diversos fatores como clima, temperatura e salinidade da água, área e profundidade do lago, e regime de ventos (Esteves, 1988).

Com relação a variação de latitude, os lagos situados em regiões temperadas, apresentam estratificação da coluna d'água devido ao aquecimento das águas superficiais durante o verão. Durante o outono, em consequência da diminuição da radiação solar, ocorre o resfriamento do epilímnio, homogeneizando a temperatura e provocando a circulação da massa d'água. Já em regiões tropicais, os lagos ficam estratificados durante a maior parte do ano, com circulação de massa d'água em períodos de climas mais frescos (Esteves, 1988).

6.4 Paleoclima da Formação Tremembé

Ao longo da história de descoberta da Bacia de Taubaté, diversos autores fizeram inúmeras inferências paleoclimáticas para a Formação Tremembé, baseada no registro de vegetais, animais e minerais (Figura 12).

Figura 12 - Ordem cronológica das principais inferências paleoclimáticas atribuídas à Formação Tremembé

Autor	Clima	Inferência
Lima <i>et al.</i> , (1985)	Clima frio e seco	Grande ocorrência de pólenes de coníferas
Duarte & Lacerda (1987)	Clima tropical/ subtropical	Análises morfobiométricas foliares
Chiappe (1988)	Clima frio, com isoterma de 8 a 10°C durante as menores temperaturas do ano	Crocodiliano
Duarte & Mandarim-de-Lacerda (1989a; 1989b; 1992)	Clima tropical/subtropical	Espécies de vegetais
Yamamoto (1995)	Clima frio, indo de subtropical a temperado quente, e com umidade variando de úmido a relativamente seco	Palinomorfos
Riccomini <i>et al.</i> , (1996)	Clima com tendenciamento à aridez	Argilominerais do grupo das esmectitas
Melo (2003; 2004)	Clima frio nas áreas montanhosas, de onde viriam a grande quantidade de pólenes de coníferas, e uma vegetação mais tropical/subtropical no entorno do lago	Macrofósseis de vegetais e palinomorfos

Fonte: O autor, 2023.

6.5 Idade

Após o início dos estudos realizados para Formação Tremembé, diversos autores atribuíram diferentes idades para essa unidade (Figura 13). A idade desta formação pode variar conforme diferentes estudos, entretanto a maioria dos trabalhos mais recentes atribui uma idade permeando ao final do Oligoceno.

Figura 13 - Idades atribuídas à Formação Tremembé

Autor	Idade	Inferência
Pissis (1842)	Plioceno	Paleofauna
Silva Santos (1950)	Plioceno	Paleofauna
Travassos & Silva-Santos (1955)	Pleistoceno	Paleofauna
Silva Santos (1970)	Pleistoceno	Paleofauna
Paula-Couto & Mezzalira (1971)	Oligoceno Inferior	Paleofauna
Brito (1979)	Cretáceo-Holoceno	Paleofauna
Lima <i>et al.</i> , (1985)	Oligoceno Inferior	Análises palinológicas
Riccomini <i>et al.</i> , (1987)	Oligoceno Superior	Paleosolo
Soria & Alvarenga (1988;1989)	Deseadense Superior (Oligoceno Superior - Mioceno Inferior)	Paleofauna
Vucetich, Cunha & Alvarenga (1993)	Oligoceno	Paleofauna
Oliveira, Ribeiro & Bergqvist (1997)	Oligoceno	Paleofauna
Alvarenga <i>et al.</i> ,(2007)	Mioceno Inferior	Observação de aves fósseis

Fonte: O autor, 2023.

7 PALEONTOLOGIA DA BACIA DE TAUBATÉ

A Formação Tremembé apresenta uma enorme quantidade e diversidade de fósseis. Seu conteúdo paleontológico é constituído por microfósseis (palinómorfos, escolecodontes, espículas de esponja e ostracodes), icnofósseis, invertebrados (moluscos e artrópodes), vertebrados (peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos) e vegetais (pteridófitas, coníferas e angiospermas) preservados sob diferentes processos de fossilização (Carvalho & Fernandes 1989; Bernardes-De-Oliveira *et al.*, 2002; Melo, 2007 e Couto-Ribeiro, 2010).

Os peixes são os fósseis de vertebrados mais abundantes nos diferentes níveis de folhelho pirotetuminosos da Formação Tremembé. Já os demais grupos de vertebrados são encontrados com mais frequência nas camadas de argila e siltito.

Woodward (1898) foi o primeiro pesquisador a descrever os peixes fósseis da Formação Tremembé, seguido por Schaeffer (1947); Travassos & Santos (1955); Figueiredo & Costa-Carvalho (1999a, b, c) e Malabarba & Lundberg (2007) (Figura 14). Esses pesquisadores descreveram representantes das ordens Characiformes, Siluriformes e Perciformes.

Figura 14 - Paleoictiofauna da Formação Tremembé

Ordem / Família	Taxa
Characiformes / Bryconidae	<i>Brycon avus</i> Woodward, 1898
Characiformes / Triportheidae	<i>Lignobrycon ligniticus</i> Woodward, 1898
Characiformes / Characidae	<i>Megacheiroduon unicus</i> Travassos & Santos, 1955
Characiformes / Curimatidae	<i>Cyphocharax mosesi</i> Travassos & Santos, 1955
Characiformes / Curimatidae	<i>Plesiocurimata alvarengai</i> Figueiredo & Costa-Carvalho, 1999
Siluriformes / Pimelodidae	<i>Steindachneridion iheringi</i> Woodward, 1898
Siluriformes / Pimelodidae	<i>Steindachneridion silvasantosi</i> Figueiredo & Costa-Carvalho, 1999
Siluriformes / Loricariidae	<i>Taubateia paraiba</i> Malabarba & Lundberg, 2007
Perciformes / Percichthyidae	<i>Santosius antiquus</i> Woodward, 1898
Perciformes / Cichlidae	<i>Tremembichthys pauloensis</i> Schaeffer, 1947

Fonte: O autor, 2023.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados referentes a metodologia utilizada, bem como o detalhamento deste trabalho, resultado e discussão que englobam a análise tafonômica dos peixes fósseis da Bacia de Taubaté estão presentes no Apêndice A (p.57) em formato de artigo, intitulado “Taphonomy of the paleoichthyofauna of the Tremembé Formation (Oligocene of the Taubaté Basin), Southeastern Brazil”, submetido ao Periódico *Journal of South American Earth Sciences*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ictiofauna da Formação Tremembé, presente nas coleções estudadas é composta por espécies de peixes de água doce, típicas de clima tropical e subtropical, representadas pelas famílias Characidae, Bryconidae, Curimatidae, Cichlidae, Pimelodidae, Percichthyidae e Triportheidae. Essa fauna de peixe está distribuída em três fácies sedimentares distintas: (1) Fácies folhelho negro, (2) Fácies folhelho cinza e (3) Fácies argilito verde.

Com base nas análises tafonômicas realizadas, observou-se a existência de três classes tafonômicas distintas para ictiofauna estudada. A classe tafonômica (1), que é constituída por espécimes completos, apresenta a melhor preservação, resultado da falta de flutuação pós-morte. A classe tafonômica (2), que possui um nível intermediário de preservação, é resultado da flutuação pós-morte. Já a classe tafonômica (3), composta por fragmentos corporais, apresenta um baixo grau de preservação, resultado da flutuação pós-morte somada com os elevados graus de decomposição posteriormente à flutuação e/ou maior energia do ambiente deposicional.

As melhores preservações dos peixes são encontradas na fácies folhelho negro, devido as baixas ocorrências de flutuabilidade pós-morte. Essa baixa flutuabilidade pós-morte é ocasionada pelo menor grau salinidade e altas pressões hidrostáticas.

A segunda melhor preservação é encontrada na fácies folhelho cinza, devido as maiores ocorrências de flutuabilidade pós-morte dos peixes, ocasionadas pelo maior grau de salinidade e baixas pressões hidrostáticas.

A menor qualidade de preservação é encontrada na fácies argilito verde, visto que neste depósito há grande evidências de correntes de lama que causavam uma distribuição caótica nas associações entre restos de gastrópodes, peixes, esqueletos de quelônios e dentes de mamíferos.

A principal hipótese que explica a preservação de tecidos moles nas fácies folhelho negro e cinza é a ocorrência de tapetes microbianos no fundo lacustre. O soterramento rápido por si só, não facilitaria a rápida mineralização das carcaças de peixes devido a elevada predominância de esmectita nos sedimentos da Formação Tremembé.

A condição de um hipolímnio predominantemente anóxico nos períodos de deposição das fácies folhelho negro e cinza é o que explica a ausência de outros organismos associados aos peixes fósseis.

Mortandade em massa nas fácies folhelho negro e folhelho cinza é reforçada pela grande densidade e diversidade de peixes fósseis. Essa mortandade em massa foi causada por processos de eutrofização, que ocasionaram o aumento da acidez das águas do antigo lago e a floração de algas dos gêneros *Botryococcus* e *Pediastrum* nos períodos úmidos e secos, respectivamente.

As ocorrências algas dos gêneros *Botryococcus* e *Pediastrum* sugerem alta luminosidade na superfície do Paleolago Tremembé, com uma grande concentração de matéria orgânica, sais inorgânicos e temperatura da água entre os 20 e 30°C.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, P.A. (1988). Konservat-Lagerstätten: cause and classification. *Paleobiology* 14, 331–344.
- ALMEIDA, F. D. (1967). Origem e evolução da plataforma brasileira. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*. DNPM, 241, 36.
- ALMEIDA, F. D. (1976). The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 48, 15-26.
- ALMEIDA, F. D. (1991). O alinhamento magmático de Cabo Frio. *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 2, 423-428.
- ALMEIDA, F. F. M.; AMARAL, G.; CORDANI, U.; KAWASHITA, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of the Amazon River. In *climpaleoclima. The South Atlantic* (pp. 411-446). Springer, Boston, MA.
- ALMEIDA, F.F.M. (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13 (3): 139-158
- ALVARENGA, H.; COUTO-RIBEIRO, G.; SILVA, D. (2007). Contribution of fossil birds to the age determination of the Tremembé Formation, Taubaté Basin, Brazil. In: *Libro de Resúmenes*, p. 1. XXIII Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados. Trelew, Patagonia Argentina.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. (1967). Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brasil. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 31: 117-142.
- ANDREWS, P. (1990). *Owls, caves and fossils*. 1ª ed. London, The Natural History Museum, 231 p.
- ANDREWS, P., LORD, J. M.; EVANS, E. M. (1979). Patterns of ecological diversity in fossil and modern mammalian faunas. *Biological Journal of the Linnean Society* 11: 177–205.
- ARQUES, A. (1991). Evolução tectonosedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, SP, Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 4, n. 3, p. 253-262, 1990.
- BARTON, D. G. & WILSON, M. V. H. (2005). Taphonomic variations in Eocene fish-bearing varves at Horsefly, British Columbia, reveal 10 000 years of environmental change. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 42:137-149.
- BEHRENSMEYER, A. K. (1991). Terrestrial vertebrate accumulations. In *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*. PA Allison and DEG Briggs, eds.
- BEHRENSMEYER, A. K.; KIDWELL, S. M.; GASTALDO, R. A. (2000). Taphonomy and Paleobiology. *Paleobiology*, 26(4) – Supplement: 103-147.
- BEHRENSMEYER, A.K. & KIDWELL, S.M. (1985). Taphonomy's contributions to Paleobiology. *Paleobiology*, 11: 105-119.

- BEHRENSMEYER, A.K. (1975). The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblage east of Lake Rudolf, Kenya. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 146(10): 473-578.
- BEHRENSMEYER, A.K. (1978). Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, 4(2):150-162.
- BEHRENSMEYER, A.K. (1991). Terrestrial vertebrate accumulations. In: P.A. Allison & D.E.G. Briggs (eds.) *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. Plenum Press, New York, p. 291-335.
- BERGQVIST, L. P. & RIBEIRO, A. M. (1998). A paleomastofauna das bacias Eoterciárias brasileiras e sua importância na datação das bacias de Itaboraí e Taubaté. *Asociación Paleontológica Argentina, Paleógeno da América do Sur y de la Península Antártica, publicación especial 5*: 19-34.
- BERTONI-MACHADO, C. & HOLZ, M. (2006). Biogenic fossil concentration in fluvial settings: an example of a cynodont taphocoenosis from the Middle Triassic of Southern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 9(3): 273-282.
- BERTONI-MACHADO, C. (2008). Tafonomia de paleovertebrados em sistemas continentais do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil e do Departamento de San José, Uruguai. 2008. 263 f. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BHARTI, M. & SINGH, D. (2003). Insect faunal succession on decaying rabbit carcasses in Punjab, India. *Journal of Forensic Science*, 48(5): 1-11.
- BLUMENSCHINE, R.J.; MAREAN, C.W.; CAPALDO, S.D. (1996). Blind-tests of inter-analyst correspondence and accuracy in the identification of cut marks, percussion marks, and carnivore tooth marks on bone surfaces. *Journal of Archaeological Science*, 23: 493-507.
- BRETT, C.E. & BAIRD, G.C. (1986). Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaios*. 1, 207-227.
- BRITO, I. M. & RIBEIRO, F. A. M. (1975). Ocorrência de Lepidoptera nos folhelhos de Tremembé e algumas considerações sobre a bacia geológica do Paraíba, Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 47(1):105-111.
- BRITO, I. M. (1979). Bacias sedimentares e formações pós-paleozóicas do Brasil. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 179p.
- CADÉE, G.C. (1991). The history of Taphonomy. In: Donovan, S.K. (ed.) *The process of fossilization*. Columbia University Press, New York, p. 3-21.
- CARTELLE, C. (1994). Tempo passado: Mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais. Belo Horizonte, Editora Palco, 131 p.
- CARVALHO, A. M. A.; VIDAL, A. C.; KIANG, C. H. (2011). Delimitação do embasamento da Bacia de Taubaté. *Geologia USP. Série Científica*, 11(1), 19-32.
- CARVALHO, I. S. (2011). Paleontologia: paleovertebrados, paleobotânica. Vol.3. Rio de Janeiro, Interciência, 448p.
- CARVALHO, I. S. & FERNANDES, A. C. S. (1989). A icnogenese da Bacia de Taubaté: significado paleoambiental. In *Anais do XI Congresso Brasileiro de Paleontologia* (Vol. 11, p. 106 e 107).

- 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.
- CHAGAS, R. B. A.; MENDONÇA-FILHO, J. G.; MENDONÇA, J. O.; MENEZES, T. R. (2009). Caracterização palinofaciológica de uma sucessão sedimentar oligocênica da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté. *Rev Bras Paleontolog*, 12(3), 257-266.
- CHIAPPE, L. M. (1988). Un nuevo Caiman (Crocodylia, Alligatoridae) de la Formación Tremembé (Oligoceno), Estado de São Paulo, Brasil, y su significado paleoclimático. *Paula-Coutiana*, v. 3, p. 49-66.
- CHISTI, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, v. 25, n. 3, p. 294–306.
- DAEE. (1997). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Estudo de águas subterrâneas da Região Administrativa 3 (São José dos Campos e Faixa Litorânea), SP. São Paulo, 175 p.
- DAMUTH, J. (1982). Analysis of the preservation of community structure in assemblages of fossil mammals. *Paleobiology*, 8(4), 434-446.
- DAVIES, N. S.; LIU, A. G.; GIBLING, M. R.; MILLER, R. F. (2016). Resolving MISS conceptions and misconceptions: a geological approach to sedimentary surface textures generated by microbial and abiotic processes. *Earth Science Reviews*, v. 154, p. 210-246.
- DE SOUSA M. E. C. A.; BRITO, M.; BERGAMASCHI, S.; MENDONÇA, J. (2020). Estudo de palinofácies na sucessão rica em matéria orgânica da Formação Tremembé no poço TMB-3-SP (Oligoceno da Bacia de Taubaté). *Geochimica Brasiliensis*, 34(1), 28-37
- DEFLEUR, A.; WHITE, T.; VALENSI, P.; SLIMAK, L.; CRÉGUT-BONNOURE, É. (1999). Neanderthal cannibalism at Moula-Guercy, Ardèche, France. *Science*, 286: 128-131.
- DONOVAN, S.K. (2002). Fossils explained, Nº 41: Taphonomy. *Geology Today*, 18(6): 226-231.
- DUARTE, L. & MANDARIM DE LACERDA, A. F. (1987). Flora cenozóica do Brasil, Formação Tremembé, Bacia de Taubaté; São Paulo. (Nota Preliminar). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, 1989, Curitiba, PR. Anais..., SBP, p. 879-884.
- DUARTE, L. & MANDARIM DE LACERDA, A. F. (1989a). Flora cenozóica do Brasil, Formação Tremembé, Bacia de Taubaté; São Paulo. II: Luechea nervaperta sp. n. (Tiliaceae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, 1989, Curitiba, PR. Resumos das Comunicações, SBP, p. 99.
- DUARTE, L. & MANDARIM DE LACERDA, A. F. (1989b). Flora cenozóica do Brasil, Formação Tremembé, Bacia de Taubaté; São Paulo. III. Frutos (Phitolacaceae e Leguminosae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, 1989, Curitiba, PR. Resumos das Comunicações, SBP, v. 1, p. 395-410.
- DUARTE, L. & MANDARIM DE LACERDA, A. F. (1992). Flora cenozóica do Brasil, Formação Tremembé, Bacia de Taubaté; São Paulo. I. Celastraceae, Loganiaceae e Thyphaceae. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p. 202-203.

- EFREMOV, I. (1940). Taphonomy: a new branch of paleontology. *Pan-American Geologist*, 74(2): 81-93.
- ELDER, R. L. & SMITH, G. R. (1984). Fish taphonomy and paleoecology. *Geobios Mémoire Spécial*, 8:287-291.
- ELDER, R. L. & SMITH, G. R. (1988). Fish taphonomy and environmental inference in paleolimnology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62:557-592.
- ELDER, R. L. (1985). Principles of aquatic taphonomy with examples from the fossil record. Thesis, PhD. University of Michigan, 336 p.
- ESTEVEZ, F.A. (1988). Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: *Interciência* 575p.
- FEJFAR, O. & KAISER, T.M. (2005). Insect bone-modification and paleoecology of Oligocene mammal-bearing sites in the Doupov mountains, northwestern Bohemia. *Palaeontologia Electronica*, 8(1): 1-11.
- FERBER, C. T. & WELLS, N. A. (1995). Paleolimnology and taphonomy of some fish deposits in "Fossil" and "Uinta" lakes of the Eocene Green River Formation, Utah and Wyoming. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 117:185-210.
- FERNANDES, A. C. S.; POLIVANOV, H.; CARVALHO, I. S. (1987). Novos procedimentos para caracterização de icnofósseis da Bacia de Taubaté, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10. Rio de Janeiro, Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, SBP, 1: 291-306.
- FERNANDES, F. L.; CHANG, H. K. (2003). Arcabouço estrutural da Bacia de Taubaté - SP. In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 9. Boletim de Resumos. p. 367-370.
- FERRARI, A.L.; SILVA, M.A.M.; PENHA, H.M. (1997a). Persistência de Shmax com direção NE no segmento nordeste do Rift Continental do Sudeste do Brasil ao longo do Cretáceo Superior e Terciário. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, resumos das sessões, 69 (3): 440.
- FIGUEIREDO, F. J. & B. C. CARVALHO (1999a). *Steindachneridion silvasantosi* n.sp. (Teleostei, Siluriformes, Pimelodidae) from the Tertiary of Taubaté Basin, State of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71: 683-695.
- FIGUEIREDO, F. J. & B. C. CARVALHO (1999b). Redescription of *Steindachneridion iheringi* (Woodward, 1898) (Teleostei, Siluriformes, Pimelodidae) from the Tertiary of Taubaté Basin, São Paulo State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 7: 869-884.
- FIGUEIREDO, F. J. & B. C. CARVALHO (1999c). *Plesiocurimata alvarengai* gen. et sp. nov. (Teleostei: Ostariophysi: Curimatidae) from the Taubaté Basin, State of São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71(4): 885-893.
- FLESSA, K. W.; KOWALEWSKI, M.; Walker, S.E. (1992). Post-collection Taphonomy: shell destruction and the Chevrolet. *Palaios*, v.7, p. 553-554.
- GÄB, F.; BALLHAUS, C.; STINNESBECK, E.; KRAL, A. G.; JANSSEN, K.; BIERBAUM, G. (2020). Experimental taphonomy of fish-role of elevated pressure, salinity and pH. *Scientific Reports*, 10 (1), 7839.

- GERY, J. (1977). Characoids of the World. Neptune City, NJ: T.F.H. Publications.
- GRANDE, L. (1984). Paleontology of the Green River Formation, with a review of the Fish Fauna. 2nd ed. Laramie: The Geological Survey of Wyoming.
- GRANDE, L., (1980). Paleontology of the Green River Formation, with a review of the fish fauna. *Geol. Surv. Wyo. Bull.*, 63: 1-333.
- HASUI, Y. & PONÇANO, W. L. (1978). Geossuturas e sismicidade no Brasil. In *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia* (Vol. 2, pp. 331-338).
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. (1975). The Ribeira Fold Belt. *Rev. Bras. Geoc.*, 5(4):257-266.
- HAYNES, G. (1980). Evidence of carnivore gnawing of Pleistocene and recent mammalian bones. *Paleobiology* 6, 341-351.
- HAYNES, G. (1980b). Prey bones and predators: Potencial ecologic information from analyses of bone sites. *Ossa*, 7: 75-97.
- HAYNES, G. (1982). Utilization and skeletal disturbances of North American prey carcasses. *Arctic*, 35(2): 266-281.
- HAYNES, G. (1983). A guide for differentiating mammalian carnivore taxa responsible for gnaw damage to herbivore limb bones. *Paleobiology*, 9(2): 164-172.
- HECHT, F. (1993). Der Verbleid der organischen Substanz der Tiere bei meerischer Einbettung. *Senckenbergiana*, 15(3-4): 165-249.
- HILL, A.P. (1979). Disarticulation and scattering of mammal skeletons. *Paleobiology* 5, 261-274.
- HOLZ, M. & SIMÕES, M. G. (2002). Elementos Fundamentais de Tafonomia. Porto Alegre, Editora Universidade/UFRGS, 231p.
- INIESTO, M.; LAGUNA, C.; FLORÍN, M.; GUERRERO, M.C.; CHICOTE, A., BUSCALIONI, A.D.; LÓPEZARCHILLA, A.I. (2015). The impact of microbial mats and their microenvironmental conditions in early decay of fish. *Palaios*, 30(11), 792-801.
- INIESTO, M.; LÓPEZ-ARCHILLA, A.I.; FREGENAL-MARTÍNEZ, M.A.; BUSCALIONI, A.D.; GUERRERO, M.C. (2013). Involvement of microbial mats in delayed decay: an experimental essay on fish preservation: *PALAIOS*, v. 28, p. 56–66.
- JANASI V.A. & ULBRICH H.H.G.J. (1991). Late Proterozoic granitoid magmatism in the state of São Paulo, southern Brazil. *Precambrian Research*, 51:351-354.
- JANJUA, M.A. & ROGERS, T.L. (2008). Bone weathering patterns of metatarsal v. femur and the postmortem interval in Southern Ontario. *Forensic Science International*, 178: 16-23.
- KAISER, J.M. (2000). Proposed insect modification to fossil mammalian bone from Plio-Pleistocene hominid-bearing deposits of Laetoli (northern Tanzania). *Annals of the Entomological Society of America*. 93, 693-700.
- KATZ, B.J. (1995). Factors controlling the development of lacustrine petroleum source rocks – an update. In: A.Y. HUC (Ed.), *Paleogeography, Paleoclimate and Source Rocks*. American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology, n. 40, p. 61-80.

KIDWELL, S. M. & HOLLAND, S. M. (1991). Field description of coarse bioclastic fabrics. *Palaios*, 426-434.

KIDWELL, S.M.; FURSICH F.T. & AIGNER, T. (1986). Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaios*, 1: 228-238.

KISCHLAT, E. E. (1991). Observações preliminares sobre os quelônios pleurodiras da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté, Estado de São Paulo, Brasil. *In: Congresso Brasileiro de Paleontologia*, XII, São Paulo, SP. Boletim de Resumos, p. 67.

LAMBIASE, J. J. (1990). A model for tectonic control of lacustrine stratigraphic sequences in continental rift basins. In: B.J. Katz (Ed.), *Lacustrine Basin Exploration: Case Studies and Modern Analogs*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, n. 50, p. 265-276.

LAWRENCE, D. R. (1971). The nature and structure of paleoecology. *Journal of Paleontology*, 593-607.

LIMA M. R.; SALARD-CHEBOLDAEFF, M.; SUGUIO, K. (1985a). Étude palynologique de la Formation Tremembé, Tertiaire du Bassin de Taubaté (État de São Paulo, Brésil), d'après les échantillons du sondage nfl42 du CNR *In: Coletânea de trabalhos paleontológicos*, Brasília, DNPM, p.379-393. (Série Geologia, 27, Seção Paleontologia e Estratigrafia, 2), p. 379-393.

LIMA, M. R.; SALARD-CHEBOLDAEF, M.; SUGUIO, K. (1985). Etude Palinologique de la Formation Tremembé, tertiaire du Bassin de Taubaté, (Etat de São Paulo, Bresil), D'Après les Echantillons du Sondage n°42 du CNP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, VIII, 1983, MMEDNPM, série Geologia, 27, Paleontologia e estratigráfica, v. 2, p. 379-393.

LYMAN, R.L. (1994). *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press, Cambridge.552p.

MALABARBA, M. C. & MALABARBA, L. R. (2008). A new cichlid *Tremembichthys garciae* (Actinopterygii, Perciformes) from the Eocene-Oligocene of eastern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11(1), 59-68.

MALABARBA, M. C. S. L. (1988). Loricariid dermal plate and pectoral fin spines (Osteichthyes, Siluriformes). *Comunicações do Museu de Ciências da PUCRS*, Sér. Zool., 5: 1-5.

MALABARBA, M. C. S. L. (1995). Sistemática e Filogenia dos Caraciformes (Actinopterygii: Teleostei) Fósseis da Bacia de Taubaté, São Paulo. Tese de Doutorado – Curso de Pós-Graduação em Geociências. UFRGS. 193p.

MALABARBA, M. C. S. L. (1996a). *Cyphocharax mosesi* (Travassos & Santos) a fossil Curimatidae from Tertiary of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68(2):294. Resumo das Comunicações. IG-SMA/SP.

MALABARBA, M. C. S. L. (1996b). Reassessment and relationships of *Curimata mosesi* Travassos & Santos a fossil fish (Teleostei: Characiformes: Curimatidae) from the Tertiary of São Paulo, Brasil. *Comun. Mus. Ci. Tecnol. PUCRS*, Ser. Zool., 9:55-63.

MALABARBA, M. C. S. L. (1997). A new Genus of Characiform Fossil Fish from Tremembé Formation, Tertiary of São Paulo, Brazil (Ostariophysi: Characidae). *In: Congresso Brasileiro de Paleontologia*, XV, São Pedro, Boletim de Resumos... p. 89.

- MALABARBA, M. C. S. L. (1998). *Megacheiroduon*, a new fossil genus of characiform fish (Ostariophysi: Characidae) from Tremembé Formation, Tertiary of São Paulo, Brazil. *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, 8(3): 193-200.
- MALABARBA, L. R. & BERTACO, V. A. (2020). Characidae – Stethaprioninae. In: MALABARBA, L. R. (ed). Guia Digital de Identificação de Peixes do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/peixesrs/ordem-characiformes/characidae-stethaprioninae/>. Acesso em 06 07 2023.
- MALABARBA, M. C. & LUNDBERG, J. G. (2007). A fossil loricariid catfish (Siluriformes: Loricarioidea) from the Taubaté Basin, eastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 5, 263-270.
- MALABARBA, M.C.S.L. (2003). Os peixes da Formação Tremembé e Paleobiogeografia da Bacia de Taubaté, Estado de São Paulo, Brasil. *Geociências*, 5(6): 36-46.
- MANCUSO, A. C. (2003). Continental fish taphonomy: a case study in the Triassic of Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(4), 275-286.
- MARQUES, A. (1990). Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, São Paulo, Brasil. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 4, n. 3, p. 253-262, 1990.
- MCGREW, P. O. (1975). Taphonomy of Eocene fish from Fossil Basin, Wyoming. *Fieldiana Geol.*, 33(14): 257-270.
- MEDEIROS, M. A. (2010). Fossildiagênese. Paleontologia: Conceitos e Métodos. Ed. *Interciência, Rio de Janeiro*, 65-78.
- MEDEIROS, M.A. (2010). Fossildiagênese. In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia: Conceitos e Métodos. Ed. Interciência, Rio de Janeiro. p. 65-78.
- MELO, D. J. (2003). Afinidades botânicas dos fósseis da Bacia de Taubaté, Formação Tremembé. Paleontologia em Destaque, n. 44, p. 21.
- MELO, D. J. (2004). Reconstrução paleoflorística da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté, São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, Araxá, 2004. Anais, Sociedade Brasileira de Geologia; CD.
- MELO, D. J. (2007). Significado Paleambiental da fauna preservada na Formação Tremembé, Bacia de Taubaté, SP (Doctoral dissertation, Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M.; COIMBRA, A.M. (1985). Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(3):193-201.
- MONTALVO, C.I. (2002). Root traces in fossil bones from the Huayquerian (Late Miocene) faunal assemblage of Telén, La Pampa, Argentina. *Acta Geologica Hispanica*, 37(1): 37-42.
- MUSCENTE, A.D.; MARTINDALE, R.C.; SCHIFFBAUER, J.D.; CREIGHTON, A.L.; BOGAN, B.A. (2019). Taphonomy of Lower Jurassic Konservat-Lagerstätte at Ya Ha Tinda (Alberta, Canada) and its significance for exceptional fossil preservation during oceanic anoxic events. *Palaios* 34, 515–541.

NAIMARK, E.B., KALININA, M.A., SHORUKOV, A.V., MARKOV, A.V. & BOEVA, N.M. (2016). Decaying of *Artemia salina* in clay colloids: 14-month experimental formation of subfossils. *J. Paleontol.* 1–13.

OLIVEIRA, E. V.; RIBEIRO, A. M.; BERGOVIST, L. P. (1997). A new Oligocene Cingulate (Mammalia: Xenarthra) from the Taubaté Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 69, p. 461-470.

OTA, R. R., ZANATA, A. M., CAIRES, R. A., LIMA, F. C. T., PAVANELLI, C. S., CASATTI, L.; LANGEANI, F. (2018). Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: revised, annotated and updated. *Neotropical Ichthyology*, 16, 2018.

PATIL, V. & TRAN, K.Q.; GISELROD, H. R. (2008). Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International journal of molecular sciences*, v. 9, n. 7, p. 1188–95, jun. 2008.

PAULA COUTO, C. & MEZZALIRA, S. (1971). Nova conceituação geocronológica de Tremembé, Estado de São Paulo, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43 (suplemento): 473-488.

PETRA, R. (2011). Análise tafonômica da ictiofauna da Formação Morro do Chaves, Cretáceo Inferior da Bacia de Sergipe-Alagoas, Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado em Biociências – Universidade do Estado do Rio de Janeiro).

PISSIS, A. (1842). Memórias sobre a estrutura geológica dos terrenos da parte austral do Brasil e sobre solevações que em diversas épocas modificaram o relevo do solo nesta região. *Revista do Instituto Histórico, Geográfico e Etnográfico do Brasil*, Rio de Janeiro, v. 51, n. 2, p. 147-151, 188 (supl.).

PRESCOTT, G. W. (1948). Objectionable algae with reference to the killing of fish and other animals. *Hydrobiologia*, 1:1 13

RAGONHA, E.W. (1982). Evolução Tecto-Sedimentar da Bacia de Taubaté com fundamentos na sua ictiofauna. Estado de São Paulo, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 54: 679-689.

REIS, R. E. (2003). Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Edipucrs.

RIBEIRO, G. D. C. (2010). Avaliação morfológica, taxonômica e cronológica dos mamíferos fósseis da Formação Tremembé (Bacia de Taubaté), Estado de São Paulo, Brasil (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

RICCOMINI, C. & COIMBRA, A. M. (1992). Geologia da bacia sedimentar. *Negro Jr., A.; Ferreira, AA; Alonso, UR*, 37-94.

- RICCOMINI, C. (1987). Transpressão tectônica cenozóica: um importante elemento no estudo da evolução estrutural do Cinturão de Dobramentos Ribeira. Resumos, VI Simpósio Regional de Geologia, SBG-SP, Rio Claro, 15-16.
- RICCOMINI, C. (1989). O *Rift* Continental do Sudeste do Brasil. 256 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- RICCOMINI, C. (1993). Origem, evolução e inversão da Bacia do Pico de Itapeva, Neoproterozóico - Cambriano, São Paulo, Brasil. In: Simpósio Internacional de Agronomia. Resumos estendidos, 1(16), s/p.
- RICCOMINI, C. (1996). Argilominerais do paleolago Tremembé e sistemas deposicionais relacionados (Paleógeno, Rift Continental do Sudeste do Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 26, n. 3, p. 167-180.
- RICCOMINI, C.; COIMBRA, A. M.; TAKIYA, H. (1992). Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo, São Paulo, 21-45.
- RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; SANT'ANA, L.G.; BRANDT NETO, M.; VALARELLI, J.V. (1996). Argilominerais do paleolago Tremembé e sistemas deposicionais relacionados (Paleógeno, *Rift* Continental do Sudeste do Brasil). *Revista Brasileira Geociencias*, 26(3): 167-180.
- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. (2004). Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 383-405.
- 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. *Journal of Paleontology*, 81(1): 201-208.
- ROGERS, R. R. (1994). Collecting taphonomic data. *Vertebrate Paleontological Techniques: Volume 1*, 1, 47.
- SADOWSKI, G. R. & MOTIDOME, M. J. (1987). Brazillian Megafaults. *Andean Geology*, (31), 61-75.
- SANT'ANNA, L. G. (1999). Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- SANTOS, R.S. & H.R.S. SANTOS. (1993). *Tremembichthys pauloensis* (Schaeffer, B., 1947) (Pisces, Cichlidae) da Formação Tremembé, Estado de São Paulo. *An. Acad. Brasil. Ci.*, 65(1): 41-56.
- SCHAEFFER, B. & MANGUS, M. (1976). An early Triassic fish assemblage from British Columbia. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, v. 156, article 5, p. 519-559.
- SCHAEFFER, B. (1947). Cretaceous and Tertiary actinopterygian fishes from Brazil. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.* 89:1-39.
- SCHÄFER, W. (1972). Ecology and palaeoecology of marine environments. University of Chicago Press, Chicago, 568 p.
- SELVAGGIO, M.M. (1994). Carnivore tooth marks and Stone tool butchery marks on scavenged bones: archaeological implications. *Journal of Human Evolution*, 27: 215-228.

- SHIPMAN, P. (1981). Life History of a Fossil: An Introduction to Taphonomy and Paleocology. Cambridge, Harvard University Press, 222 p.
- SHIPMAN, P. (1981). Life History of a Fossil: An Introduction to Taphonomy and Paleocology. Harvard University Press, Cambridge.
- SILVA SANTOS, R. (1950). Vestígio de ave fóssil nos folhelhos betuminosos de Tremembé, S. Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 22, n. 4, p. 7-8.
- SILVA SANTOS, R. (1970). Nova evidência paleontológica da idade pleistocênica dos extratos da Bacia do Paraíba. *Mineração e Metalurgia*, v. 51, n. 301, p. 10.
- SILVA SANTOS, R. (1986). Nova conceituação Genérica do *Percichthys antiquus* *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 58 (4):606-607.
- SIMÕES, M.G.; RODRIGUES, S.C.; BERTONI-MACHADO, C.; HOLZ, M. (2010). Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: Carvalho, I.S. (ed.) *Paleontologia: Conceitos e Métodos*. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, p. 19-51.
- SORIA, M. F.; ALVARENGA, H. M. F. (1988). Un Leontinidae (Notoungulata; Toxodonta) de la Cuenca de Taubaté; Estado de San Pablo, Brasil. In: JORN. ARGENT. PALEONT. VERT., IV, Resumos, pp. 23-24. Comodoro Rivadavia.
- SORIA, M. F.; ALVARENGA, H. M. F. (1989). Nuevos restos de mamíferos de la Cuenca de Taubaté, Estado de São Paulo, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 61, n. 2, p. 157-175.
- SUGUIO, K. & VESPUCCI, J. B. O. (1985). Turbiditos Lacustres da Bacia de Taubaté, SP. In: *Simpósio Regional de Geologia*, 5, São Paulo. Atas. São Paulo, SBG, v. 1, p. 243-250.
- SUGULO, K. (1996). Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté; Vale do Paraíba, Estado de São Paulo. São Paulo. Tese (Doutorado em Geologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, p.106.
- TAPPEN, M. (1994). Bone weathering in the tropical rain forest. *Journal of Archaeological Science*, 21: 667-673.
- TISSOT, B.P. & WELTE, D.H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*. Berlin: Springer-Verlag, 699 p.
- TOOTS, H. (1965). Sequence of disarticulation in mammalian skeletons. *Contributions to Geology*, 4: 37-39.
- TORRES-RIBEIRO, M. (2004). Fácies microclásticas de um sistema lacustre oligocênico do sudeste do Brasil (Formação Tremembé, Bacia de Taubaté). Rio de Janeiro, (Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ).
- TORRES-RIBEIRO, M.; BORGHI, L.; SA-PETROBRAS, P. B.; DGEL, L. L. D. G. S. (2007). O uso de microfácies sedimentares na caracterização de potenciais rochas selantes e geradoras de um sistema lacustre paleogênico na Bacia de Taubaté. In *Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo E Gás* (Vol. 1, No. 4, pp. 1-6).
- TRAVASSOS, H. & SANTOS, R. D. S. (1955). Caracídeos fósseis da Bacia do Paraíba. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 27(3), 297-322.
- TROUW R.A.J.; HEILBRON M.; RIBEIRO A.; PACIULLO F.V.P.; VALERIANO C.M., ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ M.; ANDREIS R.R. (2000). The Central Segment of the

Ribeira Belt. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro 31st *International Geological Congress*, p.287-310.

VOORHIES, M.R. (1969). Taphonomy and population dynamics of an Early Pliocene fauna, Knox County, Nebraska. *Contributions to Geology, Special Paper*, 1: 1-69.

VUCETICH, M. G.; SOUZA CUNHA, F. L.; ALVARENGA, H. M. F. (1993). Un roedor Caviomorpha de la Formación Tremembé (Cuenca de Taubaté), Estado de São Paulo, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 65, n. 3, p. 247-251.

WEIGELT, J. (1927). *Rezent Wirbeltierleichen und ihre paläobiologische Bedeutung*. Max Weg Verlag, Leipzig, 227 p., 1927.

WEIGELT, J. (1989). *Vertebrate carcasses and their paleobiological implications*. Chicago, The University of Chicago Press, 188 p.

WEILER, W.(1929). Über das Vorkommen isolierter Köpfe bei fossilen Clupeiden. *Senckenbergiana*, 11: 40–43.

WHITMORE, J. H. (2003). *Experimental fish taphonomy with a comparison to fossil fishes*. Loma Linda University.

WILSON, M. V. H. (1987). Taphonomic processes: Information loss and information gain. *Geoscience Canada*, 15:131-148.

WILSON, M. V.; BARTON, D. G. (1996). Seven centuries of taphonomic variation in Eocene freshwater fishes preserved in varves: paleoenvironments and temporal averaging. *Paleobiology*, v. 22, n. 4, p. 535-542.

WOLFE, J. A. (1971). Tertiary climatic fluctuations and methods of analysis of Tertiary floras. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 9: 27-57.

WOODWARD, A. S. (1898). Considerações sobre alguns peixes Terciários dos schistos de Taubaté, Estado de S. Paulo, Brazil. *Revista do Museu Paulista*, 3:63-70.

YAMAMOTO, I. T. (1995). *Palinologia das bacias tafrogênicas do Sudeste (bacias de Taubaté, São Paulo e Resende): Análise bioestratigráfica integrada e interpretação ambiental*. Dissertação de Mestrado, IGCE-UNESP, Rio Claro, 217p.

ZALÁN, P. V. & OLIVEIRA, J. A. (2005). Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 13(2), 269- 30.

APÊNDICE A - Taphonomy of the paleoichthyofauna of the Tremembé Formation (Oligocene of the Taubaté Basin), Southeastern Brazil (artigo científico)

Taphonomy of the paleoichthyofauna of the Tremembé Formation
(Oligocene of the Taubaté Basin), Southeastern Brazil

João Felipe Oliveira Macena de Santana

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Programa de Pós-graduação em Geociências, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro. *santanafelipeoliveira2@gmail.com*

Hermínio Ismael de Araújo-Júnior

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro. *herminio.ismael@yahoo.com.br*

Francisco J. de Figueiredo

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Zoologia, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro. *fjfig2020@outlook.com*

Márcia Aparecida dos Reis Polck.

Agência Nacional de Mineração, Av. Nilo Peçanha, 50, Sala 709, Centro, Rio de Janeiro. *marcia.reis@anm.gov.br*

Marcus Vinícius Berao Ade

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro. *adeberao@hotmail.com*

Abstract

Tremembé Formation represents an Oligocene lacustrine system from South America in which fishes stand out as the most abundant and well-preserved vertebrates. They occur in different shale (black and gray) and argillite beds. Since a taphonomic analysis of these fish fauna is essential to interpreting both the palaeoecology and palaeoenvironment of the so-called "Paleolake Tremembé". This study aims to infer taphonomic modes through the identification and interpretation of macroscopic taphonomic signatures in skeletal elements. We analyzed 491 specimens of fishes from which the following taphonomic signatures were considered: (1) overall state of articulation of the skeleton; (2) preservation state of scales; (3) articulation state of cranial bones; (4) articulation state of paired, dorsal, and anal fins, and endoskeletal supports; (5) articulation state of caudal fin; (6) articulation state of pleural ribs; (7) decomposition state of soft tissue; (8) layout pattern in space; (9) association with other fossil remains; and (10) sedimentary facies. The results indicate that this fish fauna exhibits three distinct taphonomic classes: (1) complete and fine skeletal preservation of specimens; (2) disarticulated head and/or caudal fin; and (3) dispersed body fragments. In the black shale facies, the best preservation of fossil fishes occurs due to the low occurrences of post-mortem buoyancy, caused by the lower salinity and high environmental pressures. The second-best preservation is observed in the gray shale facies, due to the higher occurrences of post-mortem buoyancy caused by the higher salinity and low ambient pressures. The lowest quality of preservation occurs in the green argillite facies, due to association with higher-energy environmental conditions governed by muddy currents. The preservation of soft tissues in the black and gray shale facies is probably associated with the anoxia of the lake bottom, which guaranteed favorable conditions for authigenic mineralization by microbial mats. The green argillite facies include only siluriform fishes, whose deposition occurred before the tectonic activities on the northeast and southwest edges of the Taubaté Basin, responsible for the diversion of waters that gave rise to a primitive Paraíba do Sul River, allowing invasion of members of certain Perciformes and Characiformes. Mass mortality in the black and gray shale facies is indicated by the high density and diversity of fossil fish. Disposition patterns in space consistent with sedimentary stratification and lithology

indicate that fishes from the black shale and gray shale facies were deposited by sediment decantation at the site of death (*in situ*) and without reworking.

Keywords: Paleolake, Taphonomy, Ichthyofauna, Mass Mortality, Tremembé Formation, Oligocene.

Introduction

Taubaté Basin is one of the Cenozoic basins belonging to the Continental Rift of Southeastern Brazil (CRSB) (Riccomini, 1989). It consists of a sedimentary framework of continental origin with two depositional phases: the first one, sin-rifted, refers to the Taubaté Group, and formed by the Resende, Tremembé, and São Paulo formations; and the second one, after tectonic diastrophism, constituted by the Pindamonhangaba Formation and alluvial and colluvial deposits (Riccomini et al., 2004).

Tremembé Formation represents a closed lacustrine system of Oligocene age, predominantly composed of a sedimentary succession formed by microclastic rocks (argillites, siltstones, and shales) rich in organic matter (Torres-Ribeiro, 2004). Its paleontological content consists of microfossils (palynomorphs, scolecodonts, sponge spicules, and ostracods), trace fossils, invertebrates (mollusks and arthropods), vertebrates (fishes, amphibians, reptiles, birds, and mammals), and plants (pteridophytes, conifers, and angiosperms) under different fossilization modes (Brito and Ribeiro, 1975; Carvalho and Fernandes, 1989; Castro et al., 1988a; Kischlat, 1991; Garcia, 1993; Capilla, 1994; Gallego and Mesquita, 1997; Melo, 2007; Ribeiro, 2010).

Fishes are the most abundant vertebrate fossils throughout shale and argillite beds of the Tremembé Formation. Woodward (1898) was the first author to describe them from this lithostratigraphic unit, and since then many others contributed additionally (e.g., Schaeffer, 1947; Travassos and Santos, 1955; Figueiredo and Costa-Carvalho, 1999a, 1999b, 1999c; Malabarba, 1998, and Malabarba and Lundberg, 2007).

An updated look at the taxonomic diversity of the fish fauna is need. But, as far it is known, there are taxa belonging to Triportheidae, Characidae, Curimatidae, Bryconidae, Pimelodidae, Loricariidae, Percichthyidae, and Cichlidae.

While fish diversity is widely known from this fossil assemblage, taphonomic studies are practically absent. If so, by the first time, this study deals with taphonomic processes about fishes from Tremembé Fm. contributing to the knowledge of underlying depositional and preservational features regarding the history of the

paleolake. In addition, we aim to indicate paleoecological aspects based on taphonomic signatures identified.

2. Geological Setting

2.1. Regional overview

Taubaté Basin is inserted within a large tectonic valley, in the ENE-WSW direction, which extends between the cities of Curitiba (Paraná State) and Macaé (Rio de Janeiro State), with approximately 900 km in length. At first, Almeida (1976) named this tectonic feature as the Serra do Mar Rift System (SMRS), later as the Continental Rift of Southeastern Brazil (CRSB) by Riccomini (1989), and, more recently, as the Cenozoic Rift System of Southeastern Brazil (CRSSB) by Zalán and Oliveira (2005). Despite the different nomenclatures that have emerged to designate the same tectonic structure over the years, in this work we opted by to use traditionally the designation CRSB.

The CRSB is of Paleogene age and developed in the tectonic context of the Mantiqueira Province, south of the São Francisco Craton, in the domain of the central segment of the Ribeira Belt (Riccomini et al., 1989; Riccomini et al., 2004).

Regarding to the generating mechanism, Riccomini et al. (2004) proposed that the CRSB origin was associated with successive tectonic events occurring from the Mesozoic to Cenozoic. During the Late Jurassic, the zone underwent a phenomena related to the Wealden Reactivation (Almeida, 1967), which successively evolved to the continental breakup and opening of the South Atlantic Ocean. Then, Neoproterozoic shear zones of the Ribeira Belt were reactivated as normal faults in the Paleogene and transcurrent faults in the Neogene, causing the installation and, later, the deformation of the sedimentary basins forming the CRSB (Riccomini et al., 2004). These tectonic events are marked by the Lower Cretaceous basaltic volcanism of the Serra Geral Formation and also by alkaline manifestations arranged

in three pulses: Early Cretaceous, Late Cretaceous to Paleocene, and Eocene (Amaral et al., 1967; Almeida, 1983; Riccomini et al., 2004).

In several locations along the CRSB, evidence of neotectonic movements can be observed. They are movements related to a compressive event in a NW-SE direction from the Late Pleistocene to the Holocene, followed successively by a Holocene extension in E-W direction to NW-SE and E-W compression (Riccomini et al., 2004).

2.2. Tremembé Formation

Originally defined by Almeida (1958), the Tremembé Formation is a lithostratigraphic unit that represents a lacustrine system of the playa-lake type, developed in the central portion of Taubaté Basin and more restrictedly in the São Paulo Basin, both members of the Continental Rift of Southeast Brazil (RCRB) (Riccomini 1989). This lacustrine system was interpreted by Torres-Ribeiro (2004) as consisting of a relatively shallow water depth (5 to 10 m), in which clays were deposited in low energy conditions with wind contributions (Fig. 1).

Based on drilling and outcrop data, five sedimentary facies are recognized the Tremembé Formation: (1) massive green argillite, which generally have a metric thickness, sometimes showing contraction cracks and calciferous concretions and frequently fossiliferous; (2) papyraceous shale and marl rhythmites, in which the shales are brown to dark gray in color, locally papyraceous and fossiliferous and sometimes pyrobituminous; and the marls are rich in ostracods and may grade to calcareous; (3) dolomites of decimeter thickness with microsparite texture (dolomicrosparite) and greyish-green to white color, constituting tabular layers interspersed in massive green argillite; (4) fine to medium sandstones with large cross bedding, with transport direction towards the center of the basin; (5) coarse conglomeratic sandstone, decimetric to metric thick, in the form of tabular layers of great lateral persistence, exhibiting normal gradation to fine quartz sandstones, with climbing ripple cross-lamination (Suguio, 1969; Riccomini, 1989, Riccomini et al., 1996).

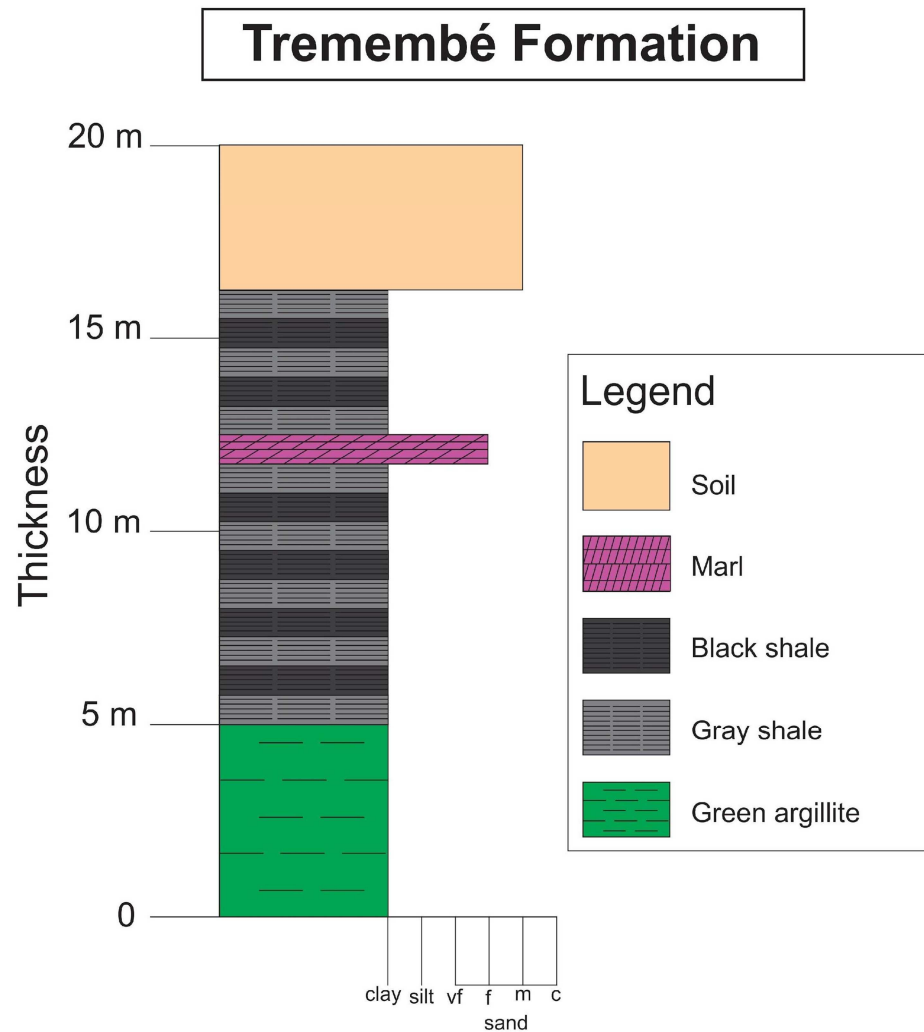


Fig. 1. Exploration front profile of the extractive Fazenda Santa Fé / Tremembé in 2023.

Massive green argillite, shales, and dolomite facies are distributed in the central portion. Riccomini (1989) attributed to the successive passage of dolomite to green argillite and pyrobituminous shales to the increasing water depth of the Paleolake Tremembé. The dolomites represent periods of high salinity in the lake; they were deposited when high evaporation rates were in force, as indicated by Sant'Anna (1999).

Faciological analyses carried out by Torres-Ribeiro (2004) showed that Paleolake Tremembé showed fluctuations in the water depth, sometimes very deep, sometimes very shallow, which consequently contributed to the increase in salinity in shallower periods. These shallower periods caused an increase in the concentration of calcium carbonate in the water, as inferred by the high concentration of ostracods. This author also interpreted that it was a stratified lake due to salinity and that the bottom was normally anoxic, interspersed with oxidizing and suboxidizing phases, favoring the development of algal mats and bioturbation by annelids (ichnogenus *Planolites*).

Algae of the genera *Pediastrum* and *Botryococcus* are the most abundant palynomorphs in the papyraceous shales of the Tremembé Formation. The bloom of *Botryococcus* is associated with drier periods where the paleolake had higher salinity and a low concentration of nutrients. The bloom of *Pediastrum* is associated with more humid periods, lower salinity, and high concentrations of nutrients (Chagas et al., 2009; Sousa et al., 2020).

The fine to medium sandstone facies with large cross bedding is associated with deposits of deltaic fans that arrived exclusively in the lake at the northern edge of the Taubaté Basin. The tabular sandstone facies, on the other hand, are distributed along the edges of the lake and represent inundites that originated from processes of the sheet-flood type, caused by sporadic floods (Riccomini, 1989). Suguio and Vespucci (1985) interpreted the tabular sandstone facies that occur intercalated in the massive green argillite in the center of the basin as lacustrine turbidites.

3. Material and methods

The dataset consists of 491 specimens of fossil fishes housed in paleontological collections of Rio de Janeiro State University (i.e., Paleontology Laboratory, Faculty of Geology, under the abbreviation UERJ.PV; and Department of Zoology, Biology Institute “Roberto Alcântara Gomes”, under the abbreviation

Pz.UERJ), Federal University of Rio de Janeiro (Laboratory Macrofossil Collection, under the abbreviation UFRJ-DG.P), and Museum of Earth Sciences (CPRM-RJ, under the abbreviation MCT.P). This material was collected without stratigraphic control throughout the history of the existence of the collections in the rural property called Santa Fé farm, located in the neighborhood of Padre Eterno, Municipality of Tremembé, São Paulo State ($22^{\circ}56'59.19''\text{S}$; $45^{\circ}32'40.23''\text{W}$), within the mining area of Sociedade Extractiva Santa Fé (Fig. 2).

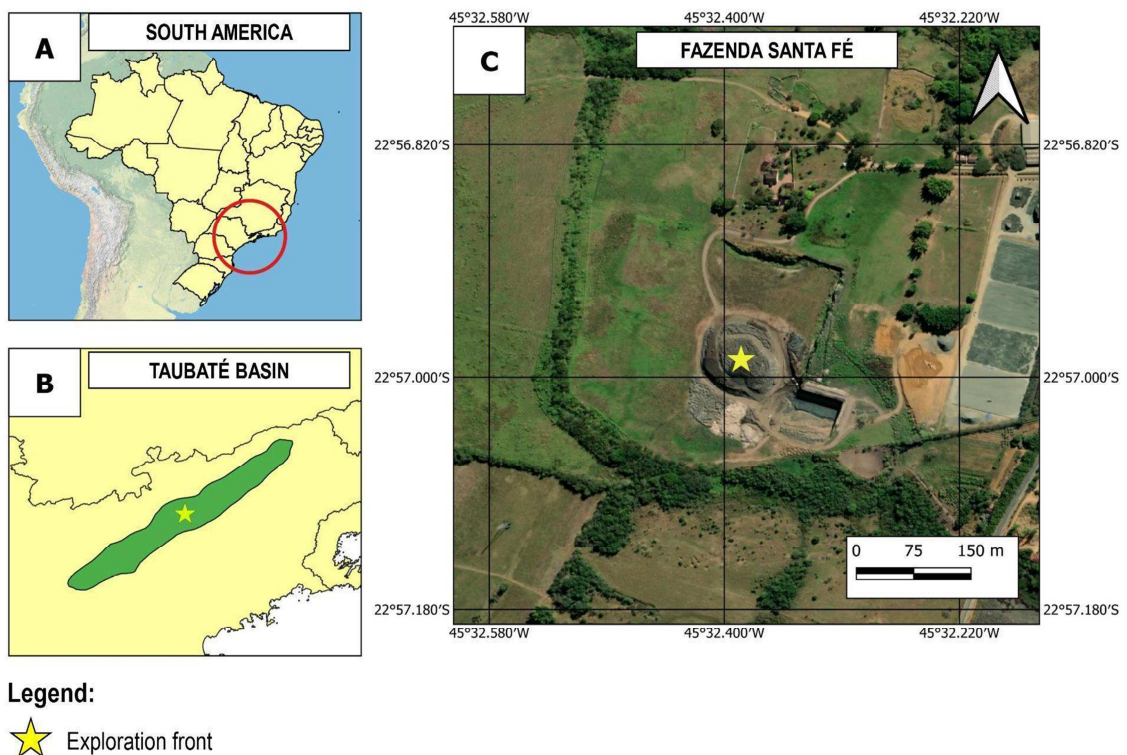


Fig. 2. Location maps of the Taubaté Basin, State of São Paulo, Southeast region of Brazil, showing the exploration front of the Fazenda Santa Fé, in which the fossils were collected.

The reconstruction of the taphonomic history and paleoecological aspects of the paleoichthyofauna of the Tremembé Formation was based on criteria defined by Elder and Smith (1988), Wilson and Barton (1996), Whitmore (2003), Petra (2011), and Mancuso (2012). This methodology evaluates the following taphonomic signatures: (1) articulation state of general skeleton; (2) preservation state of scales; (3) articulation state of cranial bones; (4) articulation state of pectoral, pelvic, dorsal, and anal fins; (5) articulation and preservation state of caudal fin; (6) articulation state

of pleural ribs; (7) decomposition state of soft tissue; (8) layout pattern in physical space; (9) association with other fossils; and (10) associated sedimentary facies.

The overall articulation state of the skeleton varies according to environmental conditions (Behrensmeyer, 1991; Rogers, 1994) and was divided into three categories: (1) completely articulated, showing well-preserved posterior and anterior body portions; (2) reasonable articulation, showing bones displaced from the original anatomical position but still exhibiting some body articulation; and (3) completely disarticulated specimens.

The assessment of the preservation state of scales was inferred by the amount of scales present and is classified as: (1) high, specimens mostly covered with scales (50-100%); (2) medium, specimens with few covering scales (10-49%); (3) low, specimens with few preserved scales (up to 9%); and (4) specimens without preserved scales or belonging taxa originally without covering scales (e.g., catfishes).

Categorization according to the of articulation state of cranial bones is the following: (1) articulated, in which the bones are in their original anatomical position; (2) associated, in which bones exhibit some degree of displacement; (3) completely disarticulated, when the bones are displaced from their original anatomical position; and (4) unidentifiable, missing skull due to bone fragmentation that occurred during the collection, preparation processes, and causes not identified.

Articulation state of pectoral, pelvic, dorsal, and anal fins was defined as: (1) completely articulated, in the case of fine articulation, with segments closely associated and distal branch of soft rays not damaged; (2) associated, in the case of existence of some degree of fragmentation, spaced segments, and/or apparent distortion; (3) completely disarticulated fin-rays; and (4) unidentifiable, fin-rays are missing due to fragmentation that occurred during the collection and preparation process, and other unidentified causes.

Regarding the degree of articulation of the caudal fin, the classification was made as follows: (1) articulated, with fin-rays in the original anatomical position and segments closely joined; (2) associated, in the case of fin-rays show modifications, with fin-rays slightly displaced; (3) disarticulated fin-rays; and (4) unidentifiable, with

absence of caudal fin due to fragmentation occurred during the collection and preparation process, or undetermined process.

State of articulation of pleural ribs was determined as follows: (1) articulated, pleural ribs in the original anatomical position; (2) associated, pleural ribs, with about half or more still attached to parapophyses of abdominal vertebrae; and (3) disarticulated and distantly placed pleural ribs.

Signs of soft tissue decomposition were analyzed as follows: (1) specimens showing minimal decomposition, with losses up to 30% of soft tissues; (2) specimens of reasonable decomposition, showing deterioration of the fins and the beginning of cranial disarticulation, and with losses of 30% to 60% of soft tissues; and finally (3) with obvious signs of decomposition and losses greater than 60% of soft tissues.

Arrangement patterns in physical space refer to how the remains are distributed within the sedimentary bed. Their concordant or discordant distribution geometry with the sedimentary stratification is directly related to the presence of disturbing agents and the energy of the sedimentation environment (Brett and Baird, 1986; Behrensmeyer, 1991; Elder and Smith, 1988; Rogers, 1994).

The analysis of association with other fossil remains was performed through macroscopical observations and with the aid of a handheld magnifying glass. This analysis aims to observe hard part fossils and trace fossils associated with the studied ichthyofauna. Microfossils were also taken into account through the analysis of the specialized literature.

4. Results and discussion

Based on the analysis of the material from the studied collections, it was observed that the paleoichthyofauna of the Tremembé Formation occurs in three distinct sedimentary facies: (1) black shale facies, (2) gray shale facies, and (3) green argillite facies (Fig. 3A).

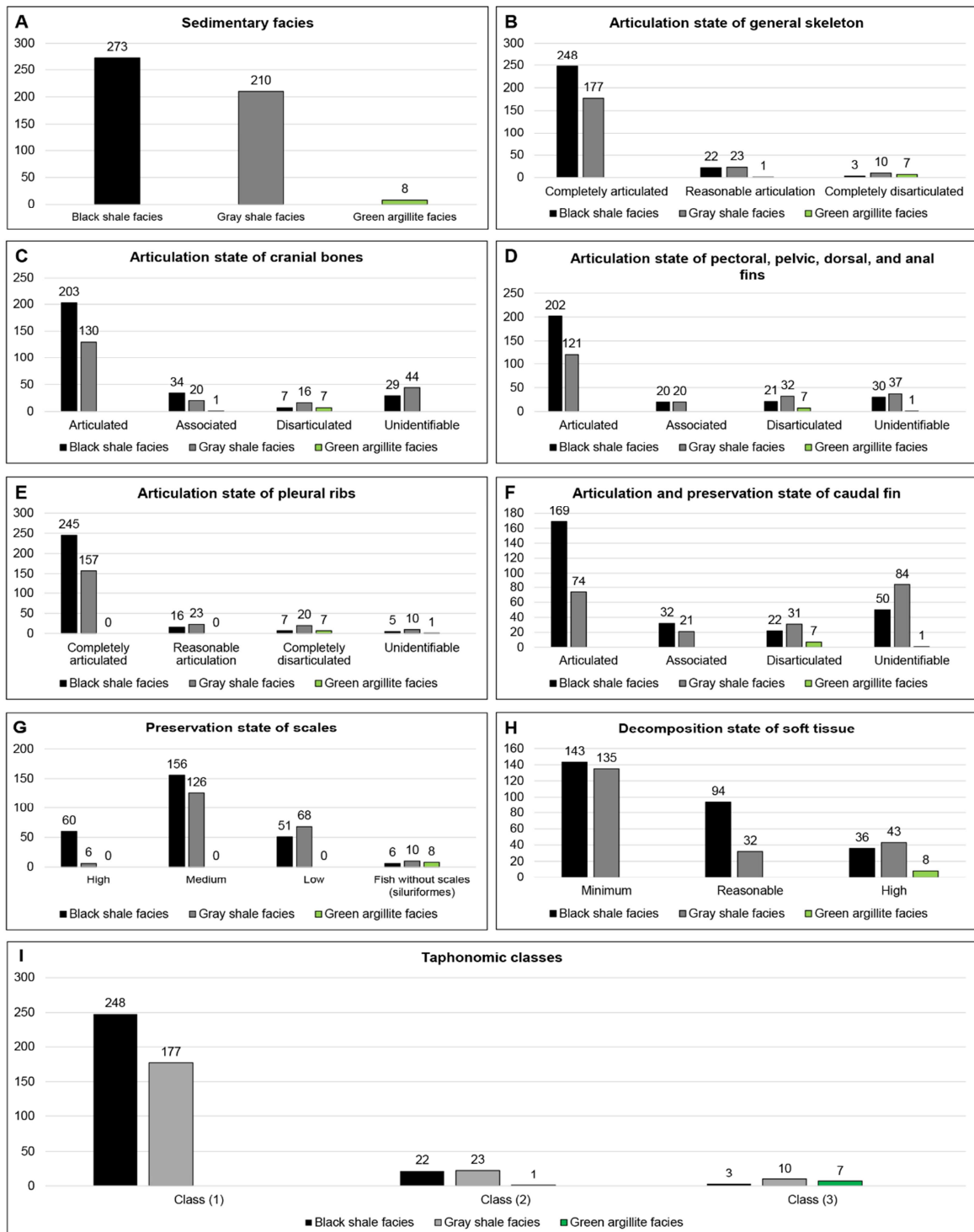


Fig. 3. A) Sedimentary facies where fossil specimens were preserved; B) Articulation state of the bone remains; C) Degree of articulation of the cranial bones; D) Degree of articulation of the pectoral, pelvic, dorsal and anal fins; E) Degree of articulation of the pleural ribs; F) Degree of articulation of the caudal fin; G) Degree of preservation of the scales; H) Degree of soft tissue decomposition; I) Taphonomic classes.

The main families of fossil fishes that are present in the four studied collections are: Characidae, Bryconidae, Curimatidae, Cichlidae, Pimelodidae, Percichthyidae, and Triportheidae (Fig. 4B). These families indicate the salinity and temperature conditions of the Paleolake Tremembé, as they are made up of freshwater organisms from tropical and subtropical climates (Géry, 1977; Reis, 2003; Ota et al., 2018).

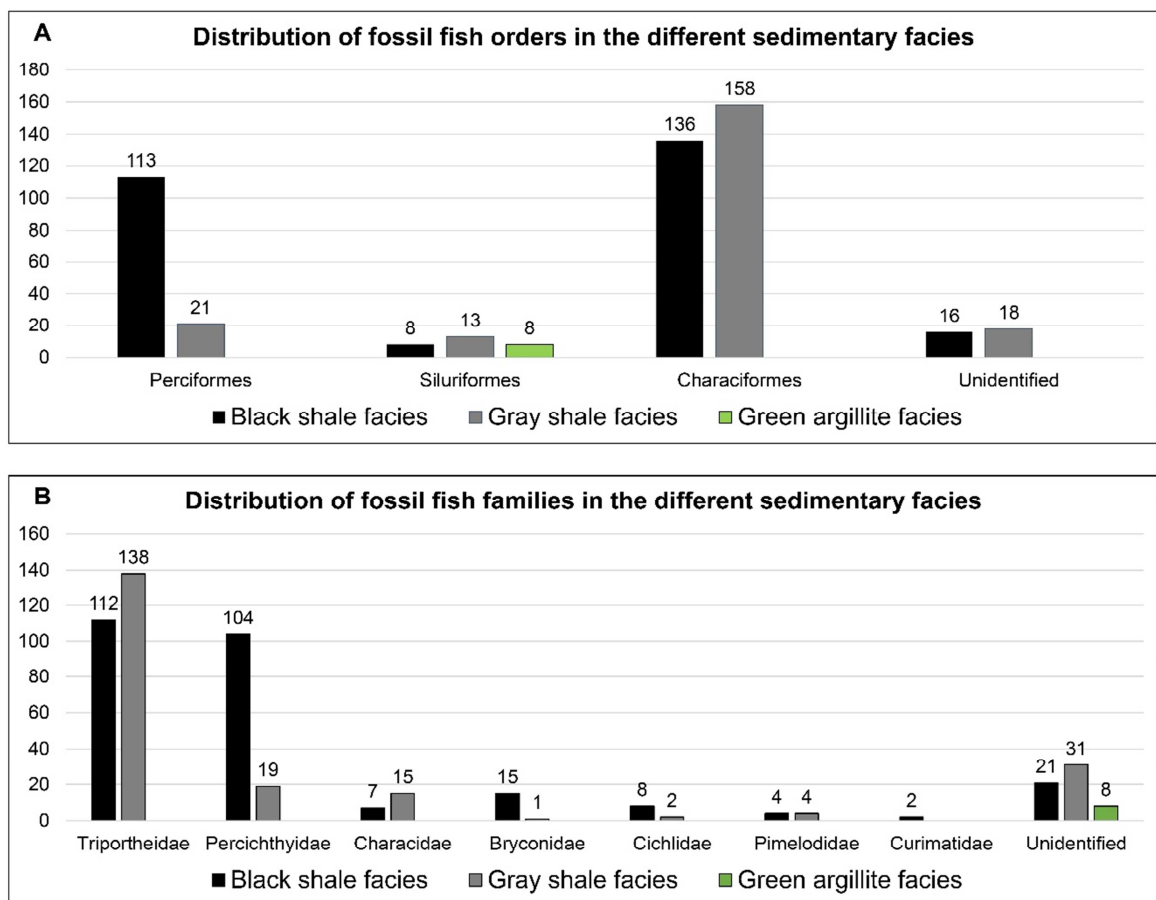


Fig. 4. A) Distribution of fossil fish orders in the different sedimentary facies; B) Distribution of fossil fish families in the different sedimentary facies.

According to the analyses of the overall articulation of skeleton, state of preservation of scales, state of articulation of cranial bones, the degree of articulation of fins, state of articulation of pleural ribs, and state of decomposition of soft tissue (Fig. 3B-H, respectively), it was observed that fossil fishes exhibit three distinct taphonomic classes: Class (1) complete specimens, occasionally without heads and/or caudal fins lost during the material collection and preparation process; Class (2) disarticulated head and/or caudal fin; and Class (3) body fragments (Fig. 3I and Table 1).

Taphonomic classes	Articulation state of general skeleton	Articulation state of cranial bones	Articulation state of pectoral, pelvic, dorsal, and anal fins	Articulation and preservation state of caudal fin	Articulation state of pleural ribs	Decomposition state of soft tissue	Preservation state of scales
Class 1 - Complete specimens.	Completely articulated, showing well-preserved posterior and anterior body portions.	Cranial bones can be fully articulated or have some degree of displacement.	The fins are in excellent condition, with no signs of disarticulation or any apparent fragmentation and/or distortion.	The articulation of the caudal fin can be perfect.	May be articulated or associated.	Specimens show minimal decomposition. Specimens of reasonable decomposition.	Specimens with the most scales present. Specimens with few scales present. Specimens without covering scales (e.g., catfishes).
Class 2 - Head and/or caudal fin disarticulated.	Incomplete specimens with reasonable articulation, showing bones displaced from the original anatomical position but still exhibiting some body articulation.	The cranial bones may be displaced to some degree or are completely disjointed.	Fins show some degree of apparent fragmentation and/or distortion. Fins may be absent.	The caudal fin shows a reasonable degree of articulation or can be totally disarticulated.	May be associated with or have a high degree of disarticulation.	Specimens of reasonable decomposition. Specimens with obvious signs of decomposition.	Specimens with few scales present. Specimens without preserved scales or belonging taxa originally without covering scales (e.g., catfishes).
Class 3 - Body fragments.	Completely disarticulated specimens.	Cranial bones are completely disarticulated.	Fins are completely disjointed or absent.	The caudal fin is completely disarticulated.	High degree of disarticulation.	Specimens with obvious signs of decomposition.	Specimens with few preserved scales. Specimens without preserved scales or belonging taxa originally without covering scales (e.g., catfishes).

Table 1. Taphonomic classes of fossil fishes and their taphonomic attributes.

Taphonomic class (1) consists of fishes that have the best preservation. The excellent preservation is a result of the lack of post-mortem flotation processes (Fig. 5A-C, F-G and Fig. 6E-G). Taphonomic class (2) has an intermediate level of preservation. This type of preservation is the result of post-mortem fluctuation processes (Fig. 5D and Fig. 6A, C-D). Finally, taphonomic class (3) consists of fishes that have a low degree of preservation. This low preservation is a result of post-mortem fluctuation processes added to the high degrees of decomposition after fluctuation and/or higher energy of the depositional environment (Fig. 5E and Fig. 6B-C).

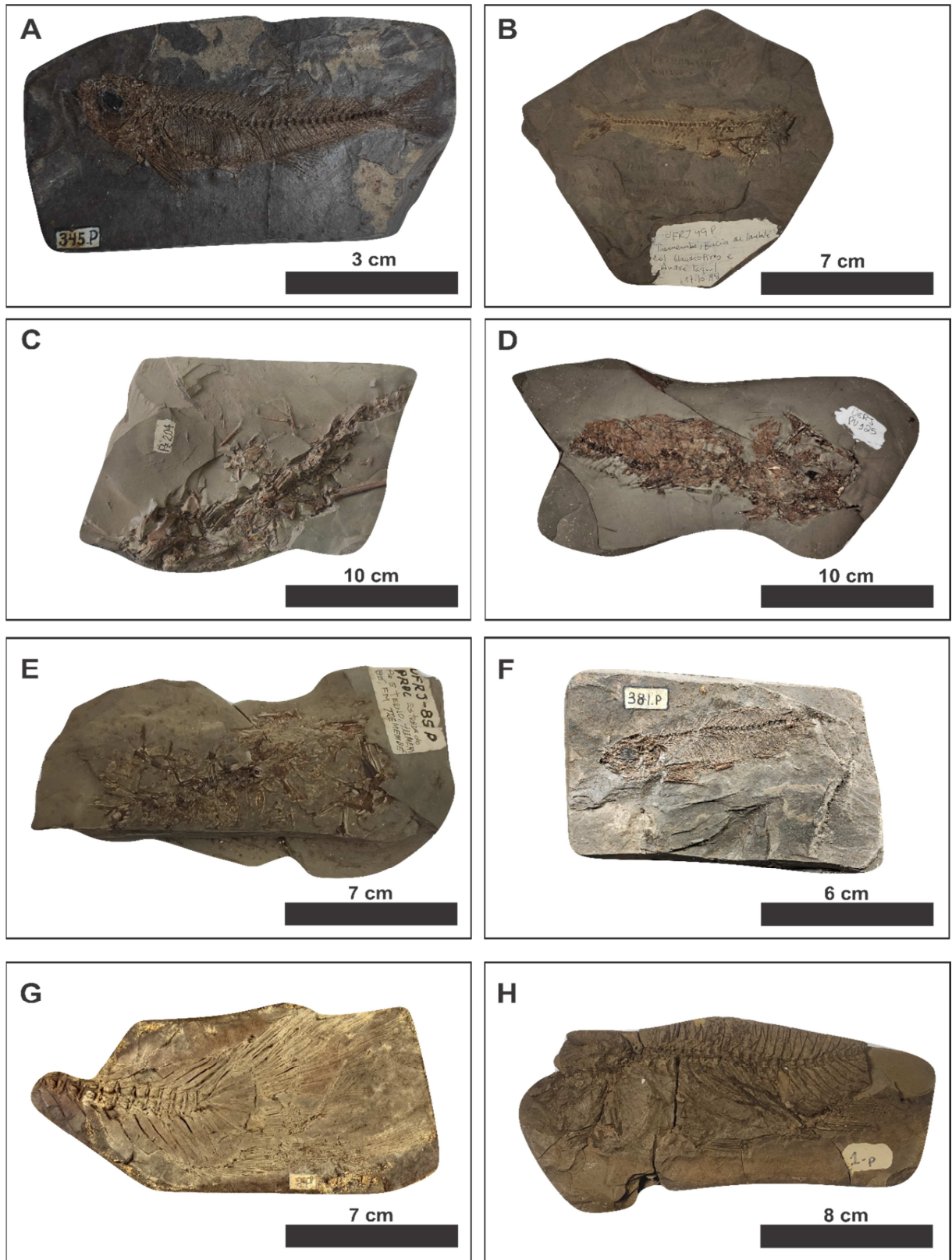


Fig. 5. A) (specimen: MCT.P.345); B) (specimen: UFRJ-DG-99-P); C) (specimen: DZ-UERJ-204); D) (specimen: UERJ.PV.125); E) (specimen: UFRJ-DG-85-P); F) (specimen: MCT.P.381); G) (specimen: MCT.P.2); H) (specimen: MCT.P.1).

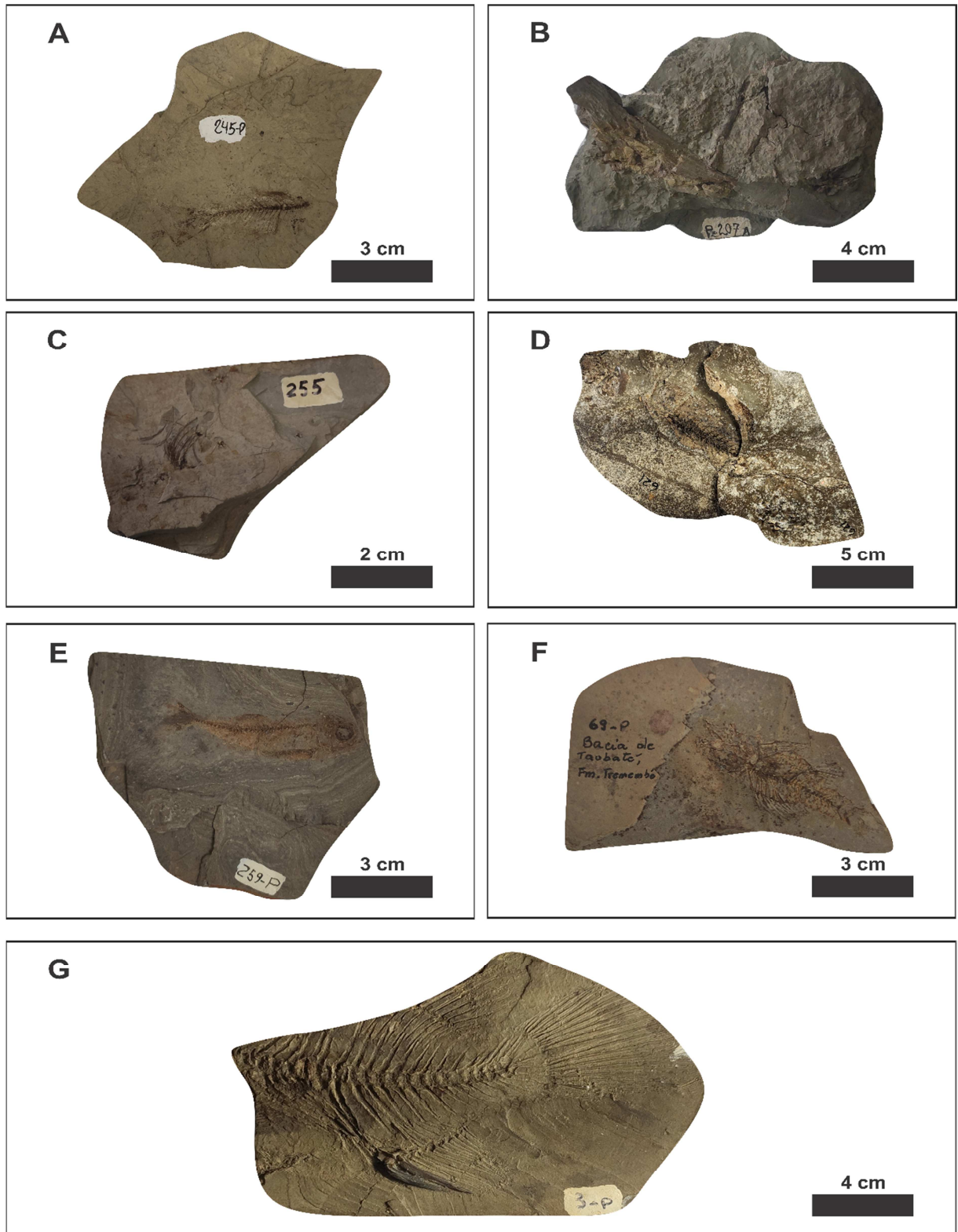


Fig. 6. A) (specimen: UFRJ-DG-245-P); B) (specimen: DZ-UERJ-207A); C) (specimen: DZ-UERJ-255); D) (specimen: MCT.P.621); E) (specimen: UFRJ-DG-259-P); F) (specimen: UFRJ-DG-69-P); G) (specimen: MCT.P.3).

Specimen	Taphonomic classes	Articulation state of general skeleton	Articulation state of cranial bones	Articulation state of pectoral, pelvic, dorsal, and anal fins	Articulation and preservation state of caudal fin	Articulation state of pleural ribs	Decomposition state of soft tissue	Preservation state of scales	Sedimentary facies
MCT.P.345	Class 1	1	1	1	1	1	1	1	Black Shale
UFRJ-DG-99-P	Class 1	1	2	1	1	1	1	2	Black Shale
DZ-UERJ-204	Class 1	1	1	2	4	1	3	4	Black Shale
UERJ.PV.125	Class 1	1	2	1	3	2	2	2	Gray Shale
UFRJ-DG-85-P	Class 3	3	3	3	3	3	3	3	Gray Shale
MCT.P.381	Class 1	1	1	1	2	1	2	2	Gray Shale
MCT.P.2	Class 1	2	4	4	2	4	2	3	Gray Shale
MCT.P.1	Class 1	1	1	1	2	1	2	3	Black Shale
UFRJ-DG-245-P	Class 2	2	3	1	2	1	1	2	Gray Shale
DZ-UERJ-207A	Class 3	3	3	3	3	3	3	4	Green Argillite
DZ-UERJ-255	Class 3	3	3	3	3	3	3	3	Gray Shale
MCT.P.621	Class 2	2	3	3	3	1	2	3	Black Shale
UFRJ-DG-259-P	Class 1	1	1	1	1	1	1	2	Black Shale
UFRJ-DG-69-P	Class 1	1	1	1	1	1	1	2	Black Shale
MCT.P.3	Class 1	2	4	4	1	1	2	3	Black Shale

Table 2. Taphonomic analysis of the specimens in Fig. 5 and Fig. 6.

The best preservation of the fishes was observed in the black shale and gray shale facies. In the green argillite facies, a lower degree of preservation was observed. In the black shale facies – in comparison with the gray shale facies – there is a better preservation of the fossil fishes. This characteristic of high preservation is directly related to the low occurrences of post-mortem buoyancy of the fishes, which were caused by the early end of the decomposition processes, low salinity, and high pressures (Weiler, 1929; Gãb et al., 2020). The black shale facies represent periods of more humid climate, where the paleolake had a greater water depth and an anoxic bottom interspersed with oxidizing and suboxidizing phases (Fernandes et al., 1987; Torres-Ribeiro, 2004).

In the gray shale facies, the low preservation can be related to the higher occurrences of post-mortem buoyancy of the fishes, which were caused by higher rates of decomposition processes, higher salinity, and low pressures (Weiler, 1929; Gãb et al., 2020). The gray shale facies represent periods of drier climate, where the paleolake had a smaller water depth, higher salinity, and an anoxic background interspersed with oxidizing and suboxidizing phases (Fernandes et al., 1987; Torres-Ribeiro, 2004; Chagas et al., 2009).

The low degree of preservation in the green argillite facies is related to the energy of the sedimentation environment. Brito and Ribeiro (1975) observed that, in these deposits, chaotic associations occur between the remains of gastropods, fishes, chelonian skeletons, and teeth of mammals. This association suggests that these remains were transported by mud currents from higher regions to deeper regions of the ancient lake.

Preservation of soft tissue in black shales and gray shale facies is associated with lake bottom anoxia, which favors conditions prone to authigenic mineralization (Muscente et al., 2019) by microbial mats (Fig. 3H). These microbial mats, in turn, contribute to lower rates of decomposition of fish carcasses (Elder and Smith, 1988; Iniesto et al., 2015; Davies et al., 2016).

According to Riccomini (1996), there is a great predominance of smectite in the sediments of the Tremembé Formation. Smectite is a clayey mineral that is inefficient at preserving soft tissues (Naimark et al., 2016), which suggests that burial did not facilitate the rapid mineralization of carcasses.

Iniesto et al. (2013) – investigating how fishes are covered and buried by microbial mats – showed that the internal tissues remained practically intact for a period longer than two years (27 months). This high preservation both in the black shale and gray shale facies indicates fossilization occurred within this time interval.

Considering that Siluriformes are fishes that live close to the bottom, in the contact between the sediment and the water, their occurrence in the three sedimentary facies (Fig. 4A) corroborates the hypothesis that the Paleolake Tremembé presented an anoxic background interspersed with oxidizing and suboxidizing phases.

Furthermore, only fish bones of the order Siluriformes were found preserved in the green argillite facies (Fig. 3A and Fig. 4A). According to Ragonha (1982), these layers were deposited before the onset of tectonic activities on the northeast and southwest edges of the Taubaté Basin, which caused the diversion of water, until then dammed, to the ocean, thus causing the formation of a primitive Paraíba do Sul River. From then on, other orders of fishes (Perciformes and Characiformes) started to compose the existing freshwater ichthyofauna of the mentioned basin.

Standard analyses of disposition in physical space and of sedimentary facies are essential for understanding the energy of the environment and how the transport and deposition of thanatocenosis of fishes occurred (Brett and Baird, 1986; Behrensmeyer, 1991; Elder and Smith, 1988; Rogers, 1994). Arrangement patterns in the physical space consistent with the stratification indicate conditions of low material transport energy. According to these analyses, it is observed that fishes from the black and gray shale facies were deposited together with the sediments by decantation processes at the place of death (*in situ*) and with no reworking.

Fish skeletons from the black shale and gray shale facies do not show any macroscopic disturbances associated with scavenger organisms, indicating that these individuals were absent between the time of death and burial. The main explanation for the absence of these organisms is related to the environmental conditions of the lake bottom. According to Ragonha (1982), Fernandes et al. (1987), and Carvalho and Fernandes (1989), the Paleolake Tremembé had a bottom that was predominantly anaerobic and had a low pH, caused by the disintegration of organic matter by microorganisms. This high acidity also explains the absence of other organisms preserved with fossil fishes, such as, for example, organisms made up of carbonate shells.

Recent studies have shown that algae of the genera *Pediastrum* and *Botryococcus* are the most abundant group of palynomorphs in the papyraceous shales of the Tremembé Formation. The bloom of *Botryococcus* is associated with drier periods where Paleolake Tremembé had higher salinity and low concentration of nutrients. On the other hand, the bloom of *Pediastrum* is associated with more humid periods, lower salinity, and high concentrations of nutrients (Chagas et al., 2009; Sousa et al., 2020). The flowering of these algae requires high light, a high concentration of organic matter and inorganic salts, and water temperatures between 20 and 30°C (Chisti, 2007; Patil et al., 2008).

The high density and diversity of fossil fish, both in the black shale and gray shale facies suggest non-selective death for these two sedimentary facies (see Fig. 4A-B), i.e., suggest a catastrophic death. This feature corroborates the hypothesis that the proliferation of algae, together with the change in salinity in the wet and dry periods, were responsible for the mass mortality of fishes.

Conclusions

The ichthyofauna of the Tremembé Formation is composed of freshwater fish species, typical of tropical and subtropical climates, represented by the families Characidae, Bryconidae, Curimatidae, Cichlidae, Pimelodidae, Percichthyidae and Triportheidae. This fish fauna is distributed in three distinct sedimentary facies: (1) black shale facies; (2) gray shale facies; and (3) green argillite facies.

Three distinct taphonomic classes for the studied ichthyofauna were recognized: Taphonomic class (1), which consists of complete specimens, has the best preservation, as a result of the lack of postmortem fluctuation; taphonomic class (2), which has an intermediate level of preservation, is the result of post-mortem fluctuation; and, taphonomic class (3), composed of body fragments, presents a low degree of preservation, resulting from post-mortem fluctuation, added to the high degrees of decomposition after the fluctuation and/or higher energy of the depositional environment.

The best preservation of the fish is found in the shale facies, as these facies represent periods of greater water depth and low salinity. Low salinity and high pressure conditions were responsible for the fewer post-mortem buoyancy processes. The second-best preservation is observed in the gray shale facies, as these sedimentary facies represent periods of lower water depth and higher salinity. These conditions of high salinity and low pressure resulted in more post-mortem buoyancy processes. The lowest quality of preservation is found in the green argillite facies, since in this deposit there is strong evidence of mud currents that caused a chaotic distribution in the associations between remains of gastropods, fishes, chelonians skeletons, and teeth of mammals.

The preservation of soft tissues in the black shale and gray shale facies is associated with the anoxia of the lake bottom, which guaranteed favorable conditions for authigenic mineralization by microbial mats. The great predominance of smectite in the sediments of the Tremembé Formation suggests that burial alone did not facilitate the rapid mineralization of fish carcasses. The condition of an anoxic hypolimnion in the periods of deposition of the black and gray shale facies is what explains the absence of other organisms associated with fossil fish.

Mass mortality in the black and gray shale facies is reinforced by the high density and diversity of fossil fish. These mass deaths were caused by eutrophication processes and changes in salinity, which caused algae blooms of the genera *Botryococcus* and *Pediastrum* in the wet and dry periods, respectively. Algae occurrences of the genera *Botryococcus* and *Pediastrum* suggest high luminosity on the surface of Paleolake Tremembé, with a high concentration of organic matter and inorganic salts and water temperatures between 20 and 30°C.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Graduate Program in Geosciences (PPGG-UERJ) for logistical support and funding for field work. To Dr. Rafael Costa da Silva for access to the collections of the Museum of Earth Sciences of CPRM-RJ and Dr. Fernando Luiz Killesse Salgado for access and support in the identification of fossil fish from the collection of the Macrofossil Collection Laboratory at UFRJ. We also thank the anonymous reviewers who contributed to the improvement of the manuscript.

Appendix A. Supplementary data

Database with taphonomic aspects of fossil fish from the studied collections:
https://drive.google.com/drive/folders/1_dCkJQHsK_gsG36iESsOcb7Uoz-geXGq?usp=sharing

Highlights

- The Tremembé Formation presents freshwater fish species in three sedimentary facies
- The black shales facies present the best preservation of fossil fish
- Anoxia allowed favorable conditions for soft tissue mineralization
- Eutrophication and salinity changes caused mass mortalities
- The presence of tetany suggests that environmental stresses affected the fish

References

- ALMEIDA, F. D. (1967). Origem e evolução da plataforma brasileira. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*. DNPM, 241, 36.
- ALMEIDA, F. D. (1976). The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 48, 15-26.
- ALMEIDA, F. D. (1991). O alinhamento magmático de Cabo Frio. *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 2, 423-428.
- ALMEIDA, F.F.M. (1958). Vale do Paraíba. In: Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia. Relatório Anual do Diretor. Rio de Janeiro, p. 90-91.
- ALMEIDA, F.F.M. (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13 (3): 139-158
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. (1967). Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brasil. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 31: 117-142.
- BEHRENSMEYER, A. K. (1991). Terrestrial vertebrate accumulations. In Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record. PA Allison and DEG Briggs, eds.
- BRETT, C.E.; BAIRD, G.C. (1986). Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaios*. 1, 207-227.
- BRITO, I. M.; RIBEIRO, F. A. M. (1975). Ocorrência de Lepidoptera nos folhelhos de Tremembé e algumas considerações sobre a bacia geológica do Paraíba, Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 47(1):105-111.
- BRITO, I. M.; RIBEIRO, F. A. M. (1975). Ocorrência de Lepidoptera nos folhelhos de Tremembé e algumas considerações sobre a bacia geológica do Paraíba, Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 47, n. 1, p. 105-111.
- CAPILLA, R. (1994). Um ofidíio da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 66, n. 2, p. 253.
- CARVALHO, I. S.; FERNANDES, A. C. S. (1989). A icnogenese da Bacia de Taubaté: significado paleoambiental. In *Anais do XI Congresso Brasileiro de Paleontologia* (Vol. 11, p. 106 e 107).
- CASTRO, A. C. J.; CARVALHO, I. S.; FERNANDES, A. C. S. (1988a). Introdução ao estudo dos coprólitos da Bacia de Taubaté, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 60, n. 1, p. 109.
- CHAGAS, R. B. A.; MENDONÇA-FILHO, J. G.; MENDONÇA, J. O.; MENEZES, T. R. (2009). Caracterização palinofaciológica de uma sucessão sedimentar oligocênica da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté. *Rev Bras Paleontolog*, 12(3), 257-266.

- CHISTI, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, v. 25, n. 3, p. 294–306.
- DAEE. (1997). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Estudo de águas subterrâneas da Região Administrativa 3 (São José dos Campos e Faixa Litorânea), SP. São Paulo, 175 p.
- DAVIES, N. S.; LIU, A. G.; GIBLING, M. R.; MILLER, R. F. (2016). Resolving MISS conceptions and misconceptions: a geological approach to sedimentary surface textures generated by microbial and abiotic processes. *Earth Science Reviews*, v. 154, p. 210-246.
- DE SOUSA M. E. C. A.; BRITO, M.; BERGAMASCHI, S.; MENDONÇA, J. (2020). Estudo de palinofácies na sucessão rica em matéria orgânica da Formação Tremembé no poço TMB-3-SP (Oligoceno da Bacia de Taubaté). *Geochimica Brasiliensis*, 34(1), 28-37
- ELDER, R. L.; SMITH, G. R. (1988). Fish taphonomy and environmental inference in paleolimnology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62:557-592.
- FERNANDES, A. C. S.; POLIVANOV, H.; CARVALHO, I. S. (1987). Novos procedimentos para caracterização de icnofósseis da Bacia de Taubaté, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10. Rio de Janeiro, Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, SBP, 1: 291-306.
- FERNANDES, F. L.; CHANG, H. K. (2003). Arcabouço estrutural da Bacia de Taubaté - SP. In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 9. Boletim de Resumos. p. 367-370.
- FIGUEIREDO, F. J.; CARVALHO, B.C. (1999a). *Steindachneridion silvasantosi* n.sp. (Teleostei, Siluriformes, Pimelodidae) from the Tertiary of Taubaté Basin, State of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71: 683-695.
- FIGUEIREDO, F. J.; CARVALHO, B.C. (1999b). Redescription of *Steindachneridion iheringi* (Woodward, 1898) (Teleostei, Siluriformes, Pimelodidae) from the Tertiary of Taubaté Basin, São Paulo State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 7: 869-884.
- FIGUEIREDO, F. J.; CARVALHO, B.C. (1999c). *Plesiocurimata alvarengai* gen. et sp, nov. (Teleostei: Ostariophysi: Curimatidae) from the Taubaté Basin, State of São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71(4): 885-893.
- GÄB, F.; BALLHAUS, C.; STINNESBECK, E.; KRAL, A. G.; JANSSEN, K.; BIERBAUM, G. (2020). Experimental taphonomy of fish-role of elevated pressure, salinity and pH. *Scientific Reports*, 10 (1), 7839.
- GALLEGO, O. F.; MESQUITA, M. V. (1997). Conchostracos Terciários de la Formación Tremembé (Bacia de Taubaté – São Paulo – Brasil) Y su importancia Paleobiológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 15º, São Pedro, SP. Bol. Resumos. p. 25.
- GARCIA, M. J. (1993). Coleção do Projeto. “A Paleontologia da Formação Tremembé”, Terciário do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 65, n. 3, p. 329.
- GERY, J. (1977). *Characoids of the world*. TFH, Neptune City.

- HASUI, Y.; PONÇANO, W. L. (1978). Geossuturas e sismicidade no Brasil. In *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia* (Vol. 2, pp. 331-338).
- INIESTO, M.; LAGUNA, C.; FLORÍN, M.; GUERRERO, M.C.; CHICOTE, A., BUSCALIONI, A.D.; LÓPEZARCHILLA, A.I. (2015). The impact of microbial mats and their microenvironmental conditions in early decay of fish. *Palaios*, 30(11), 792-801.
- INIESTO, M.; LÓPEZ-ARCHILLA, A.I.; FREGENAL-MARTÍNEZ, M.A.; BUSCALIONI, A.D.; GUERRERO, M.C. (2013). Involvement of microbial mats in delayed decay: an experimental essay on fish preservation: *PALAIOS*, v. 28, p. 56–66.
- KISCHLAT, E. E. (1991). Observações preliminares sobre os quelônios pleurodiras da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté, Estado de São Paulo, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 12, São Paulo, SP. Boletim de Resumos, p. 67.
- MALABARBA, M. C.; LUNDBERG, J. G. (2007). A fossil loricariid catfish (Siluriformes: Loricarioidea) from the Taubaté Basin, eastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 5, 263-270.
- MANCUSO, A. C. (2012). Taphonomic analysis of fish in rift lacustrine systems: Environmental indicators and implications for fish speciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 339, 121-131.
- MARQUES, A. (1990). Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, São Paulo, Brasil. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 4, n. 3, p. 253-262, 1990.
- MELO, D. J. (2007). Significado Paleoambiental da fauna preservada na Formação Tremembé, Bacia de Taubaté, SP (Doctoral dissertation, Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- MUSCENTE, A.D.; MARTINDALE, R.C.; SCHIFFBAUER, J.D.; CREIGHTON, A.L.; BOGAN, B.A. (2019). Taphonomy of Lower Jurassic Konservat-Lagerstätte at Ya Ha Tinda (Alberta, Canada) and its significance for exceptional fossil preservation during oceanic anoxic events. *Palaios* 34, 515–541.
- NAIMARK, E.B.; KALININA, M.A.; SHORUKOV, A.V.; MARKOV, A.V.; BOEVA, N.M. (2016). Decaying of *Artemia salina* in clay colloids: 14-month experimental formation of subfossils. *J. Paleontol.* 1–13.
- OTA, R. R.; DEPRÁ, G. D. C.; GRAÇA, W. J. D.; PAVANELLI, C. S. (2018). Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: revised, annotated and updated. *Neotropical Ichthyology*, 16.
- PATIL, V.; TRAN, K.Q.; GISELROD, H. R. (2008). Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International journal of molecular sciences*, v. 9, n. 7, p. 1188–95, jun. 2008.
- PETRA, R. (2011). Análise tafonômica da ictiofauna da Formação Morro do Chaves, Cretáceo Inferior da Bacia Bacia de Sergipe-Alagoas, Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado em Biociências – Universidade do Estado do Rio de Janeiro).
- RAGONHA, E.W. (1982). Evolução Tecto-Sedimentar da Bacia de Taubaté com fundamentos na sua ictiofauna. Estado de São Paulo, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 54: 679-689.

- REIS, R. E. (2003). *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. Edipucrs.
- RIBEIRO, G. D. C. (2010). Avaliação morfológica, taxonômica e cronológica dos mamíferos fósseis da Formação Tremembé (Bacia de Taubaté), Estado de São Paulo, Brasil (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- RICCOMINI, C. (1989). O *Rift* Continental do Sudeste do Brasil. 256 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- RICCOMINI, C. (1993). Origem, evolução e inversão da Bacia do Pico de Itapeva, Neoproterozóico - Cambriano, São Paulo, Brasil. In: Simpósio Internacional de Agronomia. Resumos estendidos, 1(16), s/p.
- RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; SANT'ANA, L.G.; BRANDT NETO, M.; VALARELLI, J.V. (1996). Argilominerais do paleolago Tremembé e sistemas deposicionais relacionados (Paleógeno, *Rift* Continental do Sudeste do Brasil). *Revista Brasileira Geociências*, 26(3): 167-180.
- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. (2004). Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 383-405.
- ROGERS, R. R. (1994). Collecting taphonomic data. *Vertebrate Paleontological Techniques: Volume 1*, 1, 47.
- SANT'ANNA, L. G. (1999). Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- SCHAEFFER, B. (1947). Cretaceous and Tertiary actinopterygian fishes from Brazil. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.* 89:1-39.
- SUGUIO, K. (1969). Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté, Vale do Paraíba, Estado de São Paulo. *Fac. Fil. Ci. Letras, USP, Bol. Esp.*, 106p.
- SUGUIO, K.; VESPUCCI, J. B. O. (1985). Turbiditos Lacustres da Bacia de Taubaté, SP. In: *Simpósio Regional de Geologia*, 5, São Paulo. *Atas. São Paulo, SBG*, v. 1, p. 243-250.
- TORRES-RIBEIRO, M. (2004). Fácies microclásticas de um sistema lacustre oligocênico do sudeste do Brasil (Formação Tremembé, Bacia de Taubaté). Rio de Janeiro, (Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ).
- TRAVASSOS, H.; SANTOS, R. D. S. (1955). Caracídeos fósseis da Bacia do Paraíba. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 27(3), 297-322.
- WEILER, W. (1929). Über das Vorkommen isolierter Köpfe bei fossilen Clupeiden. *Senckenbergiana*, 11: 40-43.
- WHITMORE, J. H. (2003). Experimental fish taphonomy with a comparison to fossil fishes. Loma Linda University.
- WILSON, M. V.; BARTON, D. G. (1996). Seven centuries of taphonomic variation in Eocene freshwater fishes preserved in varves: paleoenvironments and temporal averaging. *Paleobiology*, v. 22, n. 4, p. 535-542.

- WOODWARD, A. S. (1898). Considerações sobre alguns peixes Terciários dos schistos de Taubaté, Estado de S. Paulo, Brazil. *Revista do Museu Paulista*, 3:63-70.
- ZALÁN, P. V.; OLIVEIRA, J. A. (2005). Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociencias da PETROBRAS*, 13(2), 269- 30.

ANEXO A - Banco de dados com aspectos tafonômicos dos peixes fósseis das coleções estudadas

A: Banco de dados com os aspectos tafonômicos dos peixes fósseis das coleções estudadas (coleções paleontológicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Laboratório de Paleontologia da Faculdade de Geologia sob a abreviatura UERJ.PV e do Departamento de Zoologia do Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes sob abreviatura Pz.UERJ), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Laboratório Coleção de Macrofósseis, sob a abreviação UFRJ-DG.P) e do Museu de Ciências da Terra (CPRM-RJ, sob a abreviação MCT.P):

https://drive.google.com/drive/folders/1kERkaCGO6_eCAj5oZeeoMguGom0EKqj?usp=sharing

ANEXO B – Submissão do artigo ao Journal of South American Earth Sciences

24/05/2023, 19:17

Gmail - SAMES-D-23-00312 - Confirming your submission to Journal of South American Earth Sciences



Joao felipe <santanafelipeoliveira2@gmail.com>

SAMES-D-23-00312 - Confirming your submission to Journal of South American Earth Sciences

2 mensagens

Journal of South American Earth Sciences <em@editorialmanager.com> 23 de maio de 2023 às 13:18
 Responder a: Journal of South American Earth Sciences <support@elsevier.com>
 Para: João Felipe Oliveira Santana <santanafelipeoliveira2@gmail.com>

This is an automated message.

Taphonomy of the paleoichthyofauna of the Tremembé Formation (Oligocene of the Taubaté Basin), Southeastern Brazil

Dear joao Santana,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Journal of South American Earth Sciences. It has been assigned the following manuscript number: SAMES-D-23-00312.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/sames/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
 Journal of South American Earth Sciences

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?

https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/

For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>

Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

This journal uses the Elsevier Article Transfer Service. This means that if an editor feels your manuscript is more suitable for an alternative journal, then you might be asked to consider transferring the manuscript to such a journal. The recommendation might be provided by a Journal Editor, a dedicated Scientific Managing Editor, a tool assisted recommendation, or a combination. For more details see the journal guide for authors.

#AU_SAMES#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Remove my information/details). Please contact the publication office if you have any questions.

Joao felipe <santanafelipeoliveira2@gmail.com> 23 de maio de 2023 às 13:19
 Para: "Hermínio Ismael de Araújo Jr." <herminio.ismael@yahoo.com.br>, Marcus Vinicius Berao Ade <adeberao@hotmail.com>

----- Mensagem encaminhada -----

De: **Journal of South American Earth Sciences** <em@editorialmanager.com>

Data: ter., 23 de mai. de 2023 às 13:18

Assunto: SAMES-D-23-00312 - Confirmando sua submissão ao Journal of South American Earth Sciences

Para: João Felipe Oliveira Santana <santanafelipeoliveira2@gmail.com>

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=7842e56694&view=pt&search=all&permthid=thread-f:1766702417668634576&simpl=msg-f:1766702417668...> 1/2