



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS



**Assembleia Fossilífera da Formação São Carlos (Cretáceo Superior, Grupo Bauru):
novas perspectivas de análises paleontológicas**

Trabalho de Conclusão de Curso

Aline Barbosa de Oliveira

Orientadora: Fresia Soledad Ricardi Torres Branco
Coorientadora: Flavia Callefo

CAMPINAS (SP)
Novembro de 2019



**Assembleia Fossilífera da Formação São Carlos (Cretáceo Superior, Grupo Bauru):
novas perspectivas de análises paleontológicas**

Aline Barbosa de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), sob a orientação da Prof. Dra. Fresia Soledad Ricardi Torres Branco e coorientação de Flavia Callefo, como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Fresia Soledad Ricardi Torres Branco
Coorientadora: Flavia Callefo

Banca examinadora:
Msc. Isabela Jurigan
Dr. Douglas Galante

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Marta dos Santos - CRB 8/5892

OL41a Oliveira, Aline Barbosa de, 1994-
Assembleia Fossilífera da Formação São Carlos (Cretáceo Superior, Grupo Bauru) : novas perspectivas de análises paleontológicas / Aline Barbosa de Oliveira. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Fresia Soledad Ricardi Torres Branco.

Coorientador: Flávia Callefo.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Diagênese. 2. Fósseis. 3. Paleontologia - Cretáceo. 4. Rochas sedimentares. I. Ricardi-Branco, Fresia, 1963-. II. Callefo, Flávia, 1983-. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. IV. Título.

Informações adicionais, complementares

Palavras-chave em inglês:

Diagenesis

Fossils

Paleontology - Cretaceous

Rocks, Sedimentary

Titulação: Bacharel em Geologia

Banca examinadora:

Isabela Jurigan

Douglas

Galante

Data de entrega do trabalho definitivo: 16-11-2019

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Nilson e Rose, pela oportunidade de cursar uma das melhores universidades do país e por todo apoio nesses anos. Agradeço por cada palavra de motivação e incentivo, por estarem sempre ao meu lado e por acreditarem em mim, mesmo quando eu mesma não conseguia. Ao meu noivo Felipe, por aguentar todas as minhas crises de ansiedade e angústias. Não é possível colocar em palavras quão importante você foi durante todos esses anos e como se tornou minha inspiração para almejar sempre mais e me sentir capaz de enfrentar as dificuldades do dia a dia.

A minha orientadora Fresia pela orientação tanto da iniciação científica quanto desse trabalho de conclusão, me auxiliando em cada etapa de forma muito solícita e paciente. Por ter me permitido conhecer diferentes técnicas laboratoriais e sempre me incentivado no decorrer dos dias, além das conversas. E a minha co-orientadora Flavia, pelo auxílio nesses anos apesar de toda a correria, mas principalmente por dividir comigo esse universo da astrobiologia e da oportunidade de participar de outras pesquisas e vivenciar a construção de ciência.

A professora Dra. Carolina Zabini pela ajuda com a descrição dos gastrópodes e direcionamentos, sendo muito paciente e atenciosa com as minhas dúvidas e dificuldades. Ao professor Dr. Rodrigo Santucci pelo auxílio com os fragmentos de vertebrados, que mesmo à distância se mostrou muito solícito a ajudar nesse trabalho. Ao Rafael, pelo auxílio com a análise estatística e ao pesquisador Dr. Douglas Galante por ter possibilitado a utilização do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e EDS do Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) do CNPEM.

E aos meus amigos da Geologia 015, de modo especial a Helena, Diego, Guilherme e Matheus pela convivência nesses cinco anos, vocês foram essenciais e não teria sido completo e especial se não fosse por vocês! E a Ieda por estar comigo todos os dias (e agora minha cara companheira Rafaela) e por ser tudo o que você é para mim. Agradeço muito por sempre acreditarem em mim!

Nada do que é feito por amor é pequeno.

Chiara Lubich.

RESUMO

Estudos tafonômicos permitem a compreensão de como se deu a preservação de restos orgânicos no registro sedimentar e como esses processos afetam os fósseis associados a essas rochas, sendo a fossilização responsável pelo entendimento das alterações químicas e físicas que ocorrem após o seu soterramento. Com o objetivo de compreender as condições tafonômicas de uma assembleia fossilífera composta por vegetais (palinomorfs e *charcoals*), invertebrados (ostracodes, conchostráceos, bivalves e gastrópodes) preservados como moldes e vertebrados (escamas cicloides, lisas e osteíctes) pertencente a Formação São Carlos (Bacia Bauru), foram geradas imagens através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), juntamente com um detector EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) e pelo mapeamento elemental por micro-fluorescência de Raios X (μ -XRF) baseada em luz Síncrotron. Os moldes de gastrópodes, fragmentos de vertebrados e *charcoals* foram observados com o auxílio de um estereomicroscópio e as investigações se sucederam por meio de uma análise estatística para os gastrópodes com a elaboração de representações gráficas por meio do *software* R. O imageamento por MEV permitiu a visualização de piritas framboidais e remanescentes de biofilmes intimamente ligados aos fósseis. O mapeamento por μ -XRF identificou a distribuição de elementos relacionados a composição original de conchas de ostracodes e gastrópodes e dos fragmentos de vertebrados. Os gastrópodes podem ser uma ocorrência de cf. *Viviparus*. Para os fragmentos de vertebrados foi possível identificar mais uma ocorrência da ordem dos Siluriformes no Grupo Bauru, por meio de espinhos de nadadeiras, além da possibilidade de existir mais dois *taxa* diferentes, devido aos dois tipos de escamas – cicloides e lisas – e ossos, que não são encontrados em Siluriformes. Nos *charcoals* foram identificados elementos característicos de xilema secundário de angiosperma e, provavelmente, foram originados a partir da combustão incompleta desses lenhos durante o “Grande incêndio do Santoniano”. Assim, a deposição dessa camada ocorreu num ambiente lacustre onde houve a possibilidade de ação de sulfobactérias, que possivelmente induziram a precipitação da pirita por meio da decomposição da matéria orgânica. Esse processo está relacionado a condições anóxicas geradas na interface sedimento-água. A atividade microrbiana faz com que ocorra uma acidificação do ambiente que pode ter auxiliado na decomposição das conchas dos moluscos e na precipitação de apatita. O material escuro que recobria os moldes podem ser resquícios das conchas que foram escurecidas durante o processo de fossilização, evidenciados pela presença de cálcio e de metais que são reconhecidos por compor esse material (ferro, zinco e fósforo), e que se concentram na região de ápice devido a sua dinâmica de desenvolvimento. Os ossos encontram-se preservados devido a provável presença de grandes concentrações de fósforo, que mesmo quando a hidroxiapatita está condicionada a baixo pH, ainda consegue manter a estabilidade de sua estrutura química.

Palavras-chave: Formação São Carlos; fossilização; gastrópode; Ordem Siluriformes

ABSTRACT

Taphonomic studies allow the comprehension of how developed the preservation of organic residues on sedimentary registry besides the processes' impacts on the fossils associated to these rocks, being the fossilization responsible for the understanding of the chemical and physical transformations that occur after its earth slide. Images were generated by means of Scanning Electron Microscopy (SEM) with an EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) detector and the elemental mapping by micro X-ray fluorescence (μ XRF) based on Síncrotron light aiming to comprehend the taphonomic conditions of a fossil assemblage composed by vegetables (palynomorphs and charcoals), invertebrates (ostracods, clam shrimps, Bivalvia and gastropods) preserved as molds and vertebrates (cycloid and smooth scales and bony fishes) belonging to São Carlos Formation (Bauru Basin). The gastropods molds, vertebrate fragments and charcoals were observed with the aid of a stereomicroscopy and the investigations came next through a statistic analysis to the gastropods with the development of graphic representations using the R software. The SEM imaging allowed the visualization of framboidal pyrites and remnants of biofilms intimately associated to the fossils. The μ XRF mapping identified the distribution of related elements to the original composition of ostracods and gastropods shells and of the vertebrate fragments. The gastropods can be an occurrence of cf. *Viviparus*. It was possible to identify more than one occurrence of the Siluriformes order for the vertebrate fragments in the Bauru Group by means of fin spines, besides the possibility of existing other two different taxons due to the two types of scales – cycloids and smooth – and bones, which are not found in Siluriformes. In the charcoals were identified characteristic elements of angiosperm secondary xylem and probably, were originated from the incomplete combustion of these xylems during the Great Santonian Fire. Thus, the deposition of that layer occurred in a lacustrine environment where there was the possibility of sulfur-reducing bacteria's action which possibly induced the precipitation of the pyrite through the organic matter decomposition. This process is related to the anoxic conditions generated on the sediment-water interface. The microbial activity results an acidification on the environment which may have helped in the decomposition of the clam shells and apatite precipitation. The dark material that covered the molds may be remnants of the shells darkened during the fossilization process, evidenced by the presence of calcium and metals that are recognized for compounding this material (iron, zinc and phosphor) and that concentrate on the apex region due to its development dynamic. The bones are preserved as a result of the probable presence of large phosphor concentrations, that even when the hydroxyapatite is conditioned to low pH, still can maintain the stability of its chemical structure.

Keywords: São Carlos Formation; fossilization; gastropod; Siluriformes Order

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.2. Objetivos e Justificativas	13
1.3 Localização do afloramento estudado.....	14
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
2.1.Trabalho de gabinete.....	15
2.2.Trabalho de campo.....	15
2.3.Trabalhos de laboratório	16
2.3.1 <i>Descrição sistemática</i>	16
2.3.1.1. <i>Descrição e classificação dos gastrópodes</i>	16
2.3.1.2 <i>Descrição e classificação dos fragmentos de vertebrados</i>	18
2.3.2 <i>Ataque químico para separação dos charcoals da matriz rochosa</i>	18
2.3.3 <i>Confecção de lâminas petrográficas</i>	19
2.3.4 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	19
2.3.5 <i>Micro-fluorescência de raios X (μ-XRF)</i>	20
3. GEOLOGIA REGIONAL	21
3.1 Contexto geológico: Bacia Bauru	21
3.2 Contexto geológico local	24
4. FÓSSEIS DESCRITOS NA FORMAÇÃO SÃO CARLOS.....	26
4.1 Moluscos fósseis descritos do Grupo Bauru.....	26
4.2 Teleósteos fósseis descritos no Grupo Bauru	28
4.3 Carvões de queimada- <i>Charcoals</i>	30
4.4 Madeira ou lenho vegetal (xilema).....	32
5. PERMINERALIZAÇÃO POR SULFETOS – PIRITIZAÇÃO.....	33
6. RESULTADOS	33
6.1 Gastrópodes <i>incertae sedis</i>	33
6.2 Fragmentos de Osteíctes	40
6.3 Charcoals	42
6.4 Descrição da matriz rochosa em lâminas petrográficas	43
6.5 Tafonomia dos fósseis presentes na Camada Ibaté.....	44
7. DISCUSSÃO	54
7.1 Gastrópodes <i>incertae sedis</i>	54
7.2 Fragmentos de osteíctes	55
7.3 Fragmentos de charcoals.....	56

7.4 Tafonomia.....	60
8. CONCLUSÃO.....	66
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXO A – Banco de dados considerando os parâmetros relevantes para a descrição dos moldes de gastrópodes da Formação São Carlos	
ANEXO B – Número de espécimes de moldes de gastrópodes por amostra	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do afloramento estudado. A. Localização da seção-tipo da Formação São Carlos em afloramento na Fazenda Nossa Senhora de Fátima, ao norte de São Carlos SP (modificado de Neves, 2016). B. Imagem do afloramento, com destaque para região em que as amostras foram retiradas.....	15
Figura 2. Desenho esquemático de uma concha de gastrópode. Destaque para as estruturas medidas e analisadas nesse estudo (digitalatlasofancientlife.org).	17
Figura 3. Mapa litoestratigráfico da Bacia Bauru (Batezelli, 2012). Destaque para a região em que se encontra a Formação São Carlos.....	23
Figura 4. Carta cronoestratigráfica do Grupo Bauru no sudeste brasileiro [Modificado de Amaral <i>et al.</i> (1967; amostra CSN); Hasui&Cordani, (1968; amostras AX, C-3, S-10, S-31, A-2-4c, OB-SN, SB, S-1, P, T-2, B-1); Sonoki&Garda (1988; amostras CT, CS, CCI); Machado Junior (1992; amostra CCII); Guimarães <i>et al.</i> (2012); Fragoso <i>et al.</i> (2013, Pterossauros); Gobbo-Rodrigues (2001); Dias-Brito <i>et al.</i> (2001; Ostracodes); Santucci & Bertini (2001); Martinelli <i>et al.</i> (2011; <i>Aelossaurus</i>); Batezelli (2015)].	24
Figura 5. Seção-tipo da Formação São Carlos, com destaque para o estrato que contém o afloramento correspondente a Camada Ibaté (modificado de Castro <i>et al.</i> , 2002).	25
Figura 6. Reconstituição da paleoictiofauna presente no Grupo Bauru. A. Lepisosteiformes. B. Characiformes. C. Siluriformes. D. Osteoglossiformes. E. Dipnoiformes (Modificado de Hubner, 2005 e Alves, 2012).	29
Figura 7. Imagens dos moldes de gastrópodes presentes no Membro FNSF2. A. Vista superior do molde da concha (Amostra CP4 18B); B. Vista umbilical do molde da concha (Amostra CP4 41J); C. Eixo mais longo paralelo ao substrato com 3 voltas na sua espiral da concha (Amostra CP4 18A), nota-se a presença de piritização nas duas primeiras voltas do molde; D. Eixo mais longo paralelo ao substrato com 4 voltas na sua espiral da concha (Amostra CP4 18A), nota-se a presença da película escura nas duas primeiras voltas do molde; E. Eixo mais longo paralelo ao substrato com 5 voltas na sua espiral da concha (Amostra CP4 11); F. Eixo mais longo paralelo ao substrato com medidas de altura e ângulo apical. Os moldes variam de 3 a 4 voltas e é nítido a variação de tamanho entre eles (Amostra CP4 11).	34
Figura 8. Gráfico colunar representando o número de voltas em cada molde de concha de gastrópode, obtido a partir do <i>software</i> R.	35
Figura 9. Histograma resultante para os dados de altura dos moldes de conchas de gastrópodes, obtido a partir do <i>software</i> R. Apresenta uma concentração dos dados à direita.	36
Figura 10. Histograma resultante para os dados de ângulo apical dos moldes de conchas de gastrópodes, obtido a partir do <i>software</i> R. A. Histograma dos ângulos, percebe-se que as maiores ocorrências estão no intervalo de 90 a 125°, mas há medidas variantes de 57,7°, correspondendo ao menor ângulo a 144,83°, maior valor encontrado dentre as amostras analisadas; B. Em coordenada polar, com destaque para o intervalo caracterizado por Mezzalira (1974).	37
Figura 11. Gráfico que apresenta as características observadas nos moldes das conchas de gastrópodes, considerando a altura, o ângulo apical e o número de voltas, obtido a partir do <i>software</i> R. Destacado em azul está o intervalo de ângulo apical determinado por Mezzalira (1974). É possível observar como as novas medidas apresentam valores muito maiores que o esperado. Com a distribuição dos pontos não foi possível determinar a existência de diferentes populações de gastrópodes de modo evidente.	38
Figura 12. Gráfico resultante de uma análise de <i>cluster</i> de <i>K-means</i> para os dados obtidos através dos moldes de gastrópode através do <i>software</i> R. Foi determinado a divisão em dois grupos diferentes, o Grupo 1 é	

representado pelos pontos de coloração rosada e o Grupo 2, em azul. Porém, essa divisão não aparenta ser real, uma vez que não há uma disparidade nos pontos que confirme a ocorrência de duas populações diferentes.	39
Figura 13. Fragmentos diagnósticos da ordem dos Siluriformes. A. Provável espinho nadadeira de Silluriformes (Amostra CP4 5); B. Espinho de nadadeira peitoral de Siluriformes, notar os denticulos em forma de gancho aparentemente em apenas um dos lados da nadadeira (setas azuis). Logo acima do gastrópode há apenas a base de um espinho, ele é simétrico (seta vermelha) e, portanto, deve ser um espinho de nadadeira dorsal de Siluriformes (Amostra CP4 18A).	40
Figura 14. Fragmentos de osteíctes <i>incertae sedis</i> . A. Parte de uma sequência de vértebras e espinhos de peixe ósseo associados ao lado do molde de um gastrópode (seta vermelha; Amostra 18A). Notar outros espinhos isolados espalhados; B. Vértebras e espinhos de nadadeira caudal de peixe osteíctes (Amostra 18A); C. Provável espinho neural de vértebra com expansão para suporte das nadadeiras dorsais de osteíctes (seta vermelha; Amostra CP4 41B); D. Destaque para o suporte das nadadeiras dorsais; E. Espinho de vértebra ou pequena costela de peixe ósseo (Amostra CP4 14). Na parte superior do material há uma expansão articular para a conexão com a vértebra (seta vermelha); F. Dente isolado (Amostra CP4 18B); G. Escama cicloide de peixe ósseo (Amostra CP4 38N); H. Escama lisa (Amostra CP4 38J).	41
Figura 15. Imagens de charcoais (Amostra CP4 41K) e tricoma (Amostra CP4 41G). A. Destaque para o elemento de vaso, escala 50 µm; B. Destaque para a fibra de sustentação e placa de perfuração, escala 20 µm; C. Destaque para a placa de perfuração ocorrendo na forma escalariforme ou mista, escala 50 µm; D. Destaque para pontuações simples e areoladas, escala 50 µm; E. Tricoma ramificado, escala 200 µm (Amostra CP4 41G).	43
Figura 16. Fóssil de ostracode piritizado (Amostra CP4 38B). A. Com aumento de 400x; B. Com aumento de 2000x; C. Com aumento de 8000x; D. Presença do elemento enxofre; E. Presença do elemento ferro; F. Presença do elemento cálcio.	44
Figura 17. Molde de ostracode (Amostra CP4 38K). A. Pirita framboidal com aumento de 300x; B. Pirita framboidal com aumento de 1000x; C. Pirita framboidal com aumento de 3000x; D. Pirita framboidal com aumento de 10000x; E. Presença do elemento enxofre; F. Presença do elemento ferro.	45
Figura 18. Molde de ostracode (Amostra CP4 38B); A. Biofilme com aumento de 500x; B. Biofilme com aumento de 4000x; C. Biofilme com aumento de 8000x; D. Presença do elemento ferro; E. Presença do elemento fósforo; F. Presença do elemento cálcio.	45
Figura 19. Distribuição dos elementos por MEV/EDS. A. Escama cicloide (Amostra CP4 38N); B. Com a distribuição do elemento cálcio (Aumento de 300x); C. Distribuição do elemento fósforo; D. Distribuição elemento do flúor.	46
Figura 20. Mapas gerados pela µ-XRF mostrando a distribuição dos elementos na área selecionada (Amostra CP4 18B). A. Fragmento de nadadeira de um teleósteo com uma porção da matriz, destaque para a área dentro do retângulo vermelho, região em que foi realizado o mapeamento; B. Com enxofre em azul, ferro em verde e cálcio em vermelho; C. Com enxofre em azul, ferro em verde e estrôncio em vermelho; D. Com enxofre em azul, ferro em verde e zinco em vermelho; E. Com enxofre em azul, ferro em verde e níquel em vermelho; F. Com ferro em verde e manganês em azul.	47
Figura 21. Mapas gerados pela µ-XRF mostrando a distribuição de elementos na área selecionada (Amostra CP4 1). A. Moldes de ostracodes piritizados em meio a matriz rochosa, escala 50 µm. B. Ostracodes piritizados com elemento ferro em vermelho; C. Com elemento enxofre em azul; D. Com elemento enxofre em azul e ferro em vermelho, regiões de intersecção em lilás.	48
Figura 22. Mapas gerados pela µ-XRF mostrando a distribuição dos elementos na área selecionada (Amostra CP4 19); corresponde ao intervalo FNSF 2, porção superior. A. Concha de conchostráceo, destaque para a região dentro do retângulo vermelho, que compreende a região mapeada; B. Com cálcio em verde; C. Com fósforo em verde e sílica em azul; D. Com enxofre em verde e ferro em vermelho; E. Com crômio em verde e titânio em azul; F. Com estrôncio em verde.	49
Figura 23. Mapas gerados pela µ-XRF mostrando a distribuição dos elementos na área selecionada (Amostra CP4 41A). A. Molde de gastrópode mapeado, destaque para a região dentro do retângulo vermelho, material apresenta uma coloração mais escura que a área correspondente a matriz; B. Com cálcio em vermelho, enxofre em verde e potássio em azul; C. Com ferro em vermelho e cobre em azul; D. Com zinco em azul e ferro em vermelho; E. Níquel em verde; F. Vanádio em verde e titânio em vermelho.	51
Figura 24. Imagem obtida pelo MEV incluindo o EDS do ponto destacado em vermelho, que compreende a película de coloração escura que recobre o molde de ostracode (Amostra CP4 41B). Os picos mais significativos são de: carbono, oxigênio, fósforo e cálcio.	52
Figura 25. Imagem obtida pelo MEV incluindo os EDS dos pontos destacados em vermelho, sendo que dois compreendem a película de coloração escura que recobre o molde de gastrópode e outro a área piritizada	

(Amostra CP4 42C). Os picos mais significativos para o primeiro e o último são carbono, fósforo e cálcio; e para o segundo, enxofre e ferro.	53
Figura 26. Imagem obtida pelo MEV incluindo os EDS dos pontos destacados em vermelho, um correspondendo a película de coloração escura que recobre o molde de gastrópode e o outro a uma área piritizada (Amostra CP4 42C). Os picos mais significativos para o primeiro são para o carbono, oxigênio, fósforo e cálcio, com destaque para o cobre; e para o último, enxofre e ferro.	53
Figura 27. Paleogeografia das bordas nordeste e leste da Bacia Bauru e perfis geológicos esquemáticos mostrando as áreas fontes durante o Cretáceo Superior (Adaptado Almeida, 1998; Batezelli, 2010; Neves, 2016).	59
Figura 28. Desenho esquemático da diagênese, da vida até a morte de um animal. A e B. Após a morte de um animal os ossos podem ser depositados dentro do mesmo sistema ocupado em vida; C. A atividade de processos catadores, microorganismos e fatores físicos que podem remover alguns dos ossos, resultando em um registro fóssil fragmentado e incompleto. Enterro e diagênese, que transformam o osso original em apatita fóssil, aumentar o potencial de preservação; D. Erosão subsequente de sedimentos sobrepostos pode trazer o osso fossilizado de volta à superfície. Cada um desses estágios dos resultados da diagênese em físico e químico modificação do original bioapatita (Modificado de Keenan 2014; Keenan, 2016).	63
Figura 29. Vista esquemática da diagênese da bioapatita. A. <i>In vivo</i> , a bioapatita consiste em fases minerais e orgânicas intercaladas; B. Após a deposição de um osso em um sistema ambiental, a degradação do colágeno (autolítica ou biológica) abre espaços porosos para o movimento de fluidos com íons dissolvidos; C. Substituição de elementos na rede de bioapatita resulta na formação de fases minerais secundários, com porosidade reduzida e aumento do tamanho de cristalitos (Modificado de Keenan 2014; 2016).	64

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Amostras levadas para análise a Microscopia Eletrônica de Varredura e ao detector EDS.	20
Tabela 2. Amostras levadas para análise a Microfluorescência de Raios X (μ -XRF) em luz síncrotron.	21
Tabela 3. Distribuição geográfica dos teleósteos fósseis no Grupo Bauru [(Gayeez & Brito, 1989; Bertini <i>et al.</i> , 1993; Laurini, 2007; Azevedo <i>et al.</i> , 2007; Nava & Brito, 2008; Candeiro <i>et al.</i> , 2010; Alves <i>et al.</i> (em prep.); Alves 2012].	29
Tabela 4. Diferenças na estrutura do xilema secundário das gimnospermas e dicotiledôneas. Extraído de Costa <i>et al.</i> (2006).	57
Tabela 5. Composição original das conchas dos fósseis pertencentes ao intervalo FNSF2, Formação São Carlos	65

1. INTRODUÇÃO

A tafonomia é a ciência que estuda o processo de preservação dos restos orgânicos no registro sedimentar e como esses processos afetam a qualidade dos fósseis associados (Carvalho, 2010), cujo termo foi introduzido na literatura por Efremov (1940) *apud* Carvalho (2010). Uma de suas subdivisões é a diagênese dos fósseis ou fossildiagênese, que permite o entendimento sobre os processos químicos e físicos que alteram os restos esqueléticos após o soterramento— processos esses responsáveis pela gênese das rochas sedimentares que também atuam na preservação fossilífera. Assim, esses estudos se estendem desde a causa da morte do organismo até a sua fossilização, passando pela necrólise, desarticulação, transporte, soterramento, diagênese até a coleta e preparação do material.

Nesse trabalho foi considerada a assembleia fossilífera pertencente a Camada Ibaté (Formação São Carlos, Bacia Bauru) que é composta por palinomorfos, fragmentos de vertebrados [ossos e escamas de osteíctes (“peixes” ósseos)], invertebrados (bivalves, microgastrópodes, ostracodes, conchostráceos, etc.), fragmentos vegetais microscópicos, e *charcoals* (Mezzalira, 1974; Mezzalira, 1989; Lima *et al.*, 1986; Dias-Brito *et al.*, 2001; Dias-Brito *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2002; Rohn *et al.*, 2005; Arai & Dias-brito, 2018). E com base nesses fósseis buscou-se realizar um levantamento de informações tafonômicas com o intuito de auxiliar na interpretação paleoambiental dessa camada.

A Formação São Carlos localiza-se em uma pequena área pertencente a região central do estado de São Paulo. Concentra-se, de acordo com Arai & Dias-Brito (2018), em apenas alguns locais conhecidos nas proximidades das cidades de São Carlos e Ibaté (Figura 1 A), onde encontra-se ao longo de um riacho situado na Fazenda Nossa Senhora de Fátima (FNSF) a seção tipo estudada. A porção inferior desta formação foi denominada por Arai & Dias-Brito (2018) como Camada Ibaté e é diferenciada por sua coloração cinza escura e por ser mais rica em matéria orgânica que a parte superior. Esses autores interpretam que a Camada Ibaté corresponde a depósitos originados num ambiente lacustre sob condições episódicas de baixo oxigênio ou anóxicas na região distal mais profunda do lago.

Os invertebrados encontram-se preservados como moldes e com influência de diferentes processos diagenéticos e/ou biogênicos evidenciados por: piritização (precipitação de pirita – sulfeto de ferro) e porções de coloração mais escura, mais comuns na porção interior dos moldes. A piritização pode estar associada a processos metabólicos de bactérias redutoras de sulfato, que decompõem a matéria orgânica e permitem a precipitação da pirita. Esse processo está correlacionado a condições anóxicas geradas na interface sedimento-água e

a uma sedimentação mais lenta. Essa fossilização pode resultar em uma melhor preservação da matéria orgânica, possibilitando até uma conservação dos tecidos moles (Óses *et al.*, 2017).

A Formação São Carlos destaca-se, pois, além de apresentar invertebrados fósseis, revelou uma rica microflora, descrita por Lima *et al.* (1986). Esses autores registraram pela primeira vez a presença de palinomorfs na Bacia Bauru. Posteriormente Arai *et al.* (2015) e Arai & Brito (2017) descreveram a assembleia microflorística, destacando a presença de espécies de grande valor estratigráfico, que permitiram a atribuição de uma idade no intervalo do Coniaciano-Santoniano para a unidade, além de possibilitar o aprofundamento sobre a estratigrafia, paleoecologia, paleoclima e tectônica associados a mesma.

O *charcoal* ou carvão de queimada é o produto da combustão incompleta da vegetação, podendo preservar a anatomia da planta, permitindo até uma identificação taxonômica. Arai *et al.* (2006) consideraram os *charcoals* presentes nas bacias brasileiras de idade santoniana como produto de incêndios de grandes proporções que se estenderam ao longo dessa época devido à ação vulcânica. Os autores os reuniram dentro do “Grande Paleoincêndio do Santoniano”, ocorrido na região que hoje corresponde ao Sudeste Brasileiro.

Os fósseis foram investigados por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de modo a realizar uma caracterização morfológica e composicional a partir do detector EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). A utilização da Micro-fluorescência de Raios X (μ -XRF) possibilitou a realização de mapeamentos químicos das amostras de interesse, que promoveram avanços na compreensão da fossilização dessa formação. Para a descrição taxonômica dos moldes de gastrópodes e fragmentos de osteíctes foi utilizado um estereomicroscópio, para viabilizar a sua observação. No caso dos moldes de gastrópodes foi necessário a elaboração de uma análise estatística por meio de um banco de dados com informação de número de voltas, medida de altura e do ângulo apical, que foram tratados no *software* R com a finalidade de gerar representações gráficas que auxiliariam o entendimento morfológico da concha.

1.2. Objetivos e Justificativas

O desenvolvimento desse trabalho tem como objetivo a caracterização do paleoambiente deposicional a partir do estudo tafonômico da assembleia fossilífera presente na Camada Ibaté (camada de folhelho) pertencente a Formação São Carlos.

Objetivos específicos

- Compreender a piritização e a sua relação com a preservação dos fósseis presentes.
- Identificar a existência e correlação de biofilmes no interior dos moldes fósseis.
- Caracterizar os *charcoals* tentando identificar estruturas vegetais que foram preservadas e que possibilitassem a sua identificação.
- Analisar os fragmentos de vertebrados (escamas e ossos de osteíctes) e melhor descrevê-los.
- Realizar uma descrição para os moldes de gastrópodes

Esse trabalho irá contribuir com avanços a respeito do ambiente de deposição dessa camada, permitindo o entendimento de como a ação de microrganismos podem ter auxiliado na preservação dos fósseis encontrados, além de propor uma caracterização do processo de fossilização. Buscou-se ainda auxiliar na descrição, com base em uma análise estatística, para os moldes de gastrópodes, com o intuito de melhor compreender a concha desse molusco, e dos fragmentos de vertebrados encontrados entre as amostras, tentando encontrar alguma feição diagnóstica para uma identificação taxonômica.

1.3 Localização do afloramento estudado

O afloramento estudado está localizado ao longo de uma drenagem na Fazenda Nossa Senhora de Fátima (Figura 1), próximo aos municípios de São Carlos e Ibaté, estado de São Paulo, Brasil. Esse faz parte da seção tipo da Formação São Carlos, Bacia Bauru, cuja coordenada UTM é 197700 mE/ 7577800 mS, zona 23K.

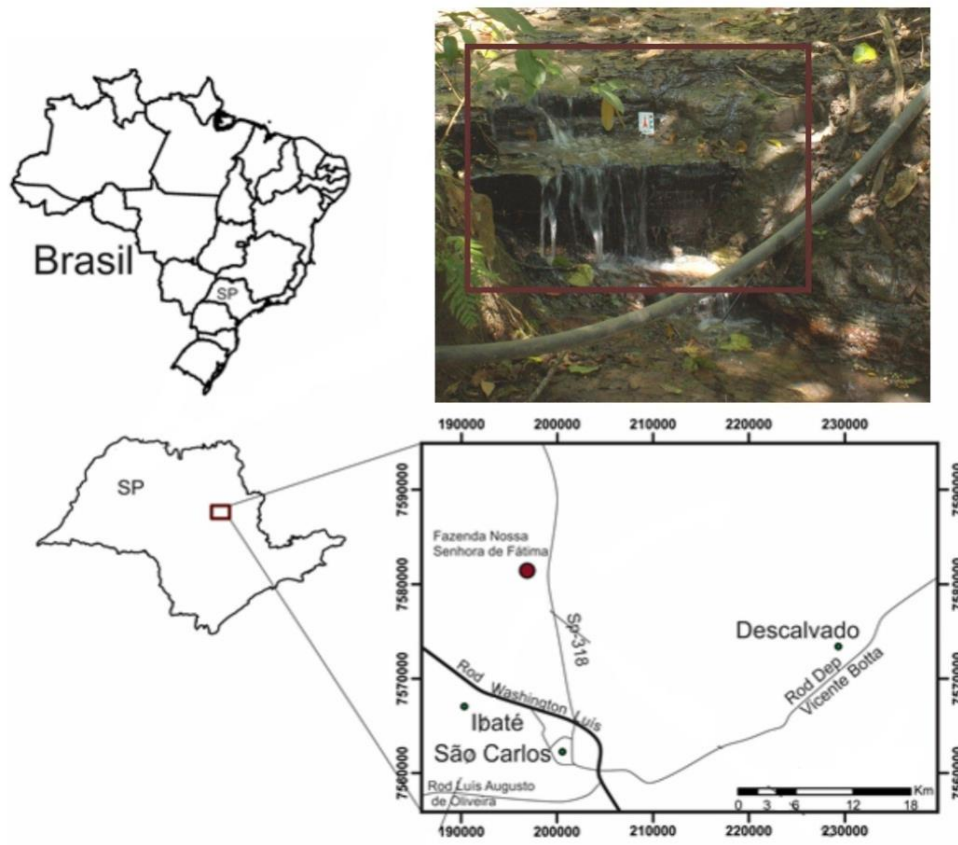


Figura 1. Mapa de localização do afloramento estudado. **A.** Localização da seção-tipo da Formação São Carlos em afloramento na Fazenda Nossa Senhora de Fátima, ao norte de São Carlos SP (modificado de Neves, 2016). **B.** Imagem do afloramento, com destaque para região em que as amostras foram retiradas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Trabalho de gabinete

Foi realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de conhecer melhor essa formação e a assembleia fossilífera já descrita, de modo a aprofundar os conhecimentos nos diferentes tipos de fossilização e *charcoals* identificados e nas suas possíveis relações com o paleoambiente.

2.2. Trabalho de campo

As amostras estudadas foram coletadas em setembro de 2017 pelos professores doutores Fresia Ricardi-Branco e Alessandro Batezelli, juntamente com o técnico responsável pelos Laboratórios de Paleohidrogeologia da UNICAMP na data da coleta, Cristiano G. da Silva. As amostras são provenientes da Fazenda Nossa Senhora de Fátima e foram coletadas entre as rochas que compunham o leito da drenagem que passa por essa propriedade rural, com o cuidado de obter amostras das porções mais basais e de topo, pertencentes a Camada Ibaté (Arai & Dias-Brito, 2018). Ao todo têm-se 123 amostras coletadas e incluídas dentro da

Coleção Científica de Paleontologia 4 (CP4), na seção de microfósseis do Instituto de Geociências da UNICAMP.

2.3.Trabalhos de laboratório

2.3.1 Descrição sistemática

As amostras estudadas foram observadas e descritas utilizando um Estereomicroscópio Stemi Z6 do Laboratório de Paleohidrogeologia, IG-UNICAMP e foram captadas imagens digitais por meio da câmera digital Axiocam 105 *color* acoplada ao equipamento e tratadas no programa ZEN 2.3 *lite*. Com base nas informações obtidas a partir das ferramentas de medidas do programa e da observação criteriosa dos fósseis foram selecionados os que se encontravam mais preservados e que poderiam ser caracterizados por meio de outras análises. Com o auxílio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e do detector EDS, juntamente com a Micro-fluorescência de Raios X (μ -XRF) baseada em luz síncrotron, foi possível investigar os fósseis que se encontravam piritizados e/ou presença da película escura, fragmentos de osso e escama dos restos de peixe e do carvão de queimada (*charcoals*).

2.3.1.1. Descrição e classificação dos gastrópodes

Foi realizada a medição de 229 espécimes (espaço amostral de $n = 229$) de moldes de gastrópodes que estavam com o eixo maior paralelo ao acamamento rochoso com o intuito de compreender como se dava a variação de tamanho entre os diversos moldes espalhados pelas amostras e se poderia representar a existência de mais de uma população de gastrópodes. Para isso, foi elaborado um banco de dados para a realização de uma análise estatística por meio da construção de uma tabela (Anexo A) com as informações: número da amostra; número de voltas – variação do número de voltas para cada espécime que apresentava o maior eixo paralelo ao acamamento; medida de altura (Figura 2) – medida do comprimento do maior eixo da concha; medida do ângulo apical – medida do ângulo de abertura da concha a partir do seu ápice; e uma breve descrição do espécime fotografado. As medidas foram realizadas no software ZEN 2.3 *lite*. Para o ângulo apical foi utilizado a ferramenta *GraphicsAngle* e para a altura, *GraphicsDistance*.

No Anexo B são apresentados o número de espécimes de gastrópodes encontrados para cada amostra. No total obteve-se 791 moldes, variando em amostras com alta concentração ou que não apresentavam nenhuma ocorrência desses fósseis. Esse valor diverge

do espaço amostral utilizado para a análise estatística, pois os demais exemplares não apresentavam o maior eixo paralelo ao acamamento, tratando-se de vistas superiores ou outras posições que não favoreciam a extração das medidas de interesse.

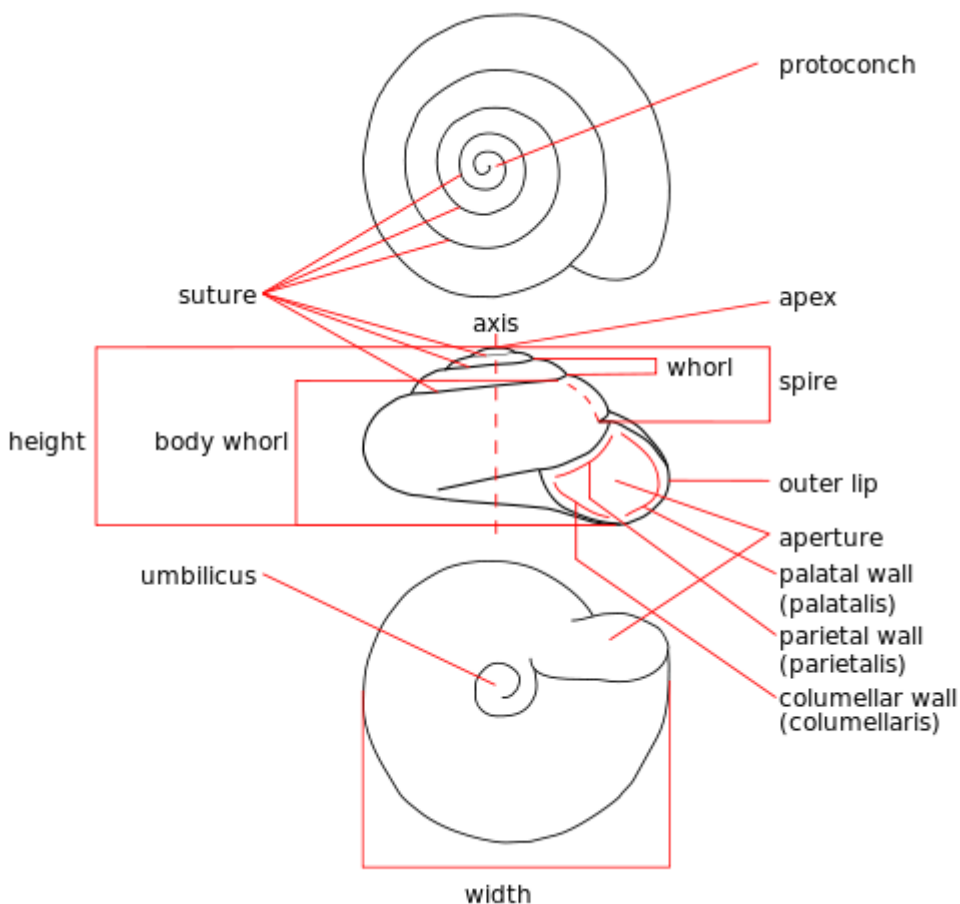


Figura 2. Desenho esquemático de uma concha de gastrópode. Destaque para as estruturas medidas e analisadas nesse estudo (digitalatlasofancientlife.org).

Foram elaborados por meio do *software* R diferentes representações gráficas relativas as variações observadas nos moldes de gastrópodes com o intuito de auxiliar na sua descrição e classificação. Elas foram (1) gráfico de colunas com o n amostral (número de espécimes) pelo número de voltas; (2) histograma de altura e ângulo apical, incluindo um histograma em coordenada polar para os ângulos obtidos, com o intuito de facilitar a visualização – melhor compreensão da variação dos dados – e comparação com a literatura; (3) gráfico da altura pelo ângulo apical, diferenciando os pontos pelo número de voltas dos moldes caracterizados; e (4) gráfico da altura pelo ângulo apical obtido a partir de um algoritmo de agrupamento de dados *K-means*, com o objetivo de encontrar similaridades entre os dados e agrupá-los. O algoritmo, portanto, considera a nuvem de pontos obtidas e a

partir do número de grupos definidos, busca encontrar os centros na imagem que seriam compatíveis com a desses grupos – agrupando os valores próximos de modo a ficarem concentrados em uma única área –, porém esses grupos pré-determinados podem realmente existir ou não.

2.3.1.2 Descrição e classificação dos fragmentos de vertebrados

As amostras que continham os fragmentos de vertebrados (osteíctes) foram observadas em lupa e fotografadas, para análise e compreensão das mesmas. Buscou-se encontrar feições diagnósticas para a classificação desse material, entre os ossos e as escamas que ocorrem de forma desarticulada ou isolada dentre as amostras.

2.3.2 Ataque químico para separação dos charcoals da matriz rochosa

Para as amostras identificadas com as maiores concentrações de *charcoals* (carvão vegetal) em estereomicroscópio foi aplicado o método proposto por Bruch e Pross (1999) – padrão para amostras de sedimentos ricos em matéria orgânica – a fim de realizar uma separação mais eficiente desse material da matriz. O procedimento consistiu em aplicar 100 ml de HNO₃ (ácido nítrico) concentrado (30%) a três fragmentos de rocha de aproximadamente 10 gramas, medidos em uma balança de precisão Ohaus AR2140 (amostras CP4 41G com 11,82 g; CP4 41H com 11,61 gramas e CP4 41K com 10,97 g), em recipientes individuais, por um período de 48 horas. Após esse intervalo de tempo, como o material já se apresentou parcialmente desintegrado, houve a substituição do ácido nítrico por água destilada, que permaneceu por mais 48 horas. Foi necessário a lavagem com água destilada até que o líquido resultante adquirisse uma coloração clara. Com a redução das amostras a pequenos fragmentos, os resíduos foram armazenados em tubos de centrífuga preenchidos com água destilada e devidamente identificados. O material residual, de cada amostra, foi colocado em uma placa de Petri e observado com o auxílio de um estereomicroscópio no Laboratório de Paleohidrogeologia da UNICAMP, com o intuito de separar os melhores e mais preservados fragmentos de *charcoals*.

Os fragmentos de rocha que continham os *charcoals* melhor preservados e de maior tamanho foram fixados em *stubs* para serem levados para análise em MEV, com a finalidade de identificar se alguma estrutura vegetal diagnostica tenha sido preservada para auxiliar na sua identificação.

2.3.3 Confeção de lâminas petrográficas

Foram confeccionadas um total de quatro lâminas petrográficas polidas e sem lamínula no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da UNICAMP com o intuito de melhor analisar a composição mineralógica do nível intermediário do Membro Nossa Senhora de Fátima – Fazenda Nossa Senhora de Fátima 2 (FNSF2): duas da porção superior de coloração mais clara (Amostra CP4 29) e duas da porção inferior de cor cinza e que corresponde a Camada Ibaté (Amostra CP4 33). O intervalo FNSF2 corresponde a siltitos e argilitos e por se tratar de rochas sedimentares foi necessária a impregnação com Araldite para conseguir obter as lâminas. Não foi colocado as lamínulas sobre a camada de rocha polida com o intuito de realizar futuras análises no MEV/EDS.

2.3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com o intuito de melhorar a caracterização morfológica e realizar uma análise qualitativa dos elementos químicos presentes em amostras com moldes de ostracodes e gastrópodes, escamas e ossos de osteíctes e *charcoals* (Tabela 1) foram realizadas seções de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) no Laboratório do Instituto de Geociências da UNICAMP e no Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM). A caracterização elementar foi realizada por meio do detector EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) de ambos os microscópios.

O princípio do MEV consiste em um feixe de elétrons de pequeno diâmetro a varrer a superfície da amostra através de linhas sucessivas, e transmitir o sinal do detector a uma tela catódica que é sincronizada ao feixe incidente. O sinal de imagem resulta da interação desse feixe com a superfície da amostra, assim o sinal recolhido pelo detector é utilizado para modular o brilho do monitor permitindo a sua observação. O detector EDS permite uma análise espectral dos raios X gerados na amostra do espécime diretamente sob o feixe de elétrons, possibilitando a obtenção de informações químicas qualitativas que auxiliam na identificação de minerais desconhecidos. Quando combinado ao MEV gera informações topográficas, cristalográficas e composicionais de uma mesma área (Klein & Dutrow, 2012).

Para a análise do interior de moldes de gastrópodes das porções mais escuras (principalmente na região do ápice) e dos ostracodes foi realizada uma investigação sem a metalização da amostra por carbono (análise por modo ambiental), pois suspeitava-se da presença de compostos orgânicos em sua composição. Assim, utilizou-se uma baixa corrente

na tentativa de gerar imagens de maior qualidade, sem grandes influências de concentração de elétrons que geram porções mais claras na imagem – não correspondem a mudanças composicionais. Nas áreas de interesse foram realizados pontos de investigação química com o detector EDS, de modo a obter a composição dessa película que aparenta recobrir certas regiões dos fósseis.

A microestrutura das amostras também foi observada com o auxílio do MEV. Foram analisadas quatro amostras: três moldes de ostracodes piritizados e um espécime bem preservado de escama cicloide.

Tabela 1. Amostras levadas para análise a Microscopia Eletrônica de Varredura e ao detector EDS.

AMOSTRA	DESCRIÇÃO
Fósseis	
CP4 41K	Fragmentos de carvão de queimada (<i>charcoals</i>)
CP4 41H	Fragmentos de carvão (<i>charcoals</i>)
CP4 38K	Molde de ostracode piritizado – possível pirita framboidal
CP4 38N	Escama cicloide
CP4 38B	Molde de ostracode piritizado
CP4 38B	Molde de ostracode – possível presença de biofilme
CP4 41B	Molde de gastrópode em vista superior com a região apical escurecida
CP4 41B	Moldes de ostracodes
CP4 42C	Moldes de gastrópodes com o eixo maior paralelo ao acamamento com a região apical escurecida
Lâminas Petrográficas	
CP4 29	Porção superior de coloração mais clara
CP4 33	Porção inferior de cor cinza – Camada Ibaté

2.3.5 Micro-fluorescência de raios X (μ -XRF)

A microfluorescência de Raios X (μ -XRF) possibilita realizar mapeamentos químicos de uma amostra, aumentando o nível de detecção para os elementos traço (Santos, 2012). Essas análises foram realizadas na linha de luz XRF que faz parte de um conjunto de estações experimentais que compõem o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) inserido no Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).

A absorção da energia dos raios X em uma amostra resulta no deslocamento dos elétrons das camadas mais internas, criando uma lacuna que é preenchida pelo elétron que ocupa a próxima camada mais externa. Isto gera uma nova lacuna que é preenchida, e este processo vai se repetindo. Nessas mudanças para camadas internas os elétrons passam de

níveis de alta para baixa energia, resultando na emissão de energia na forma de raios X característicos - também conhecidos como raios X secundários e o fenômeno de emissão é chamado fluorescência de raios X, que é característico para cada elemento.

Foram analisadas oito amostras através desse mapeamento elementar (Tabela 2) com foco na determinação e mapeamento de elementos químicos contidos nas áreas mapeadas. As análises foram realizadas por meio da aprovação da proposta número 20170642 para a utilização da linha de luz XRF. Os mapas foram obtidos com a utilização do software PyMca 4.6.0 (desenvolvido pelo European Synchrotron Radiation Facility – ESRF; Solé *et al.*, 2007).

Tabela 2. Amostras levadas para análise a Microfluorescência de Raios X (μ -XRF) em luz síncrotron.

AMOSTRA	DESCRIÇÃO
Fósseis	
CP4 41B	Moldes de ostracodes (convexo e côncavo) sem piritização mais uma região da matriz
CP4 41C	Moldes de ostracodes piritizados (com evidência de pirita na região da matriz)
CP4 1	Molde de ostracode piritizado – possível pirita framboidal
CP4 41A	Molde de gastrópode cuja região de ápice apresenta a película escura
CP4 18B	Possível fragmento ósseo de nadadeira de peixe
CP4 19	Fragmento de concha de conchostráceo preservado com evidência de piritização
CP4 38N	Escama cicloide

As amostras foram reduzidas de modo a permitir a sua fixação no suporte para amostras da linha. O mapeamento elementar foi realizado em modo de micro feixe com sistema de foco KB, que permite atingir um tamanho de feixe de 12x25 mm de diâmetro, à temperatura ambiente. A excitação dos elétrons foi realizada no modo de feixe branco variando a energia de 3-14 keV. Para algumas amostras, foi necessário a utilização de filtros de Fe devido à alta concentração do elemento nas amostras.

3. GEOLOGIA REGIONAL

3.1 Contexto geológico: Bacia Bauru

A Bacia Bauru ocupa uma área de aproximadamente 370000 km² e ocorre na maior parte do planalto ocidental de São Paulo, estendendo-se ao extremo oeste de Minas Gerais, no Triângulo Mineiro, seguindo para o sul de Goiás, norte do Paraná e sudeste do Mato Grosso (Fernandes *et al.*, 2000; Ghilardi *et al.*, 2010; Figura 3). A bacia desenvolveu-se durante o Cretáceo Superior e foi originada, segundo Batezelli (2017), após o evento vulcânico precoce

ocorrido no Cretáceo na região sudoeste do país (Província Vulcânica Paraná-Etendeka). Essa bacia possui um formato alongado no sentido NNE e foi principalmente implantada sobre substrato basáltico, correspondente a Formação Serra Geral, e aos depósitos arenosos do Grupo Caiuá.

De forma geral a Bacia Bauru é composta por rochas argilo-arenosas na base, gradando para arenosas e conglomeráticas nas porções de topo, cuja espessura máxima preservada aproxima-se a 300 metros. O conjunto litológico dessa caracteriza um intervalo deposicional continental, que ocorreu no interior da Placa Sulamericana, iniciando-se provavelmente com um nível de base lacustre, preenchido, gradualmente, por um sistema aluvial, devido ao soerguimento acentuados das bordas norte, nordeste e leste da bacia.

Os limites da bacia são considerados essencialmente erosivos e/ou tectônicos, sendo delimitados a noroeste pela Antéclise de Rondonópolis (Coimbra, 1991), a nordeste, pelo Soerguimento do Alto Paranaíba (Hasui & Haralyi, 1991), a leste, pelo alinhamento do Rio Moji Guaçu (Coimbra *et al.*, 1981), São Carlos-Leme e Ibitinga-Botucatu (Riccomini, 1995), e a sul e sudeste, pelo alinhamento Paranapanema (Fulfaro, 1974). O limite a oeste torna-se difuso por estar encoberto pelos depósitos sedimentares aluviais associados à planície do Rio Paraná correspondentes ao Terciário e ao Quaternário (Batezelli, 2003). Os processos erosivos que são responsáveis pela configuração atual dos limites da bacia estão relacionados ao evento de reestruturação tectônica ocorrida durante o terciário, evidenciado em sua borda oriental pelo levantamento da Serra do Mar e Soerguimento do Alto Paranaíba.

A Bacia Bauru pode ser dividida nos grupos Caiuá e Bauru. O Grupo Caiuá é constituído por três formações: Goio Erê; Rio Paraná e Santo Anastácio. O Grupo Bauru é representado pelas formações Araçatuba, Adamantina, Uberaba e Marília. Esse trabalho dará maior destaque ao Grupo Bauru por compor a Formação São Carlos – trata-se de uma unidade litoestratigráfica definida por Castro *et al.* (2002). A estratigrafia do Grupo Bauru (Figura 4) é composta na base por rochas lamíticas da Formação Araçatuba passando para arenitos e arenitos conglomeráticos das formações Adamantina/Uberaba e Marília. Esses depósitos foram formados através de processos sedimentares subaquosos e subaéreos (eólicos), sob condições climáticas semiáridas a áridas. A arquitetura estratigráfica da Bacia Bauru indica que a evolução ocorreu por meio de tratos de sistemas de alta e baixa acomodação de sedimentos, com interação entre ambientes de playa-lake e planícies aluviais dominadas por rios entrelaçados (Batezelli, 2003; Batezelli *et al.*, 2005; Batezelli *et al.*, 2006; Batezelli, 2010; Batezelli, 2015).

O conteúdo fóssilífero relacionado ao Grupo Bauru consiste em vertebrados, invertebrados, detritos de vegetais e microfósseis. Os fósseis encontrados nessa bacia sugerem idades do Aptiano ao Maastrichtiano, com base em: pterossauros descrito por Guimarães *et al.* (2012) e Fragoso *et al.* (2013); ostracodes por Gobbo-Rodrigues (2001) e Dias-Brito *et al.* (2001) – espécies pertencentes as formações Adamantina e Marília –; e dinossauros (*Aelosaurus*) descritos por Santucci & Bertini (2001) e Martinelli *et al.* (2011) – da Formação Uberaba (porção norte da Bacia Bauru).

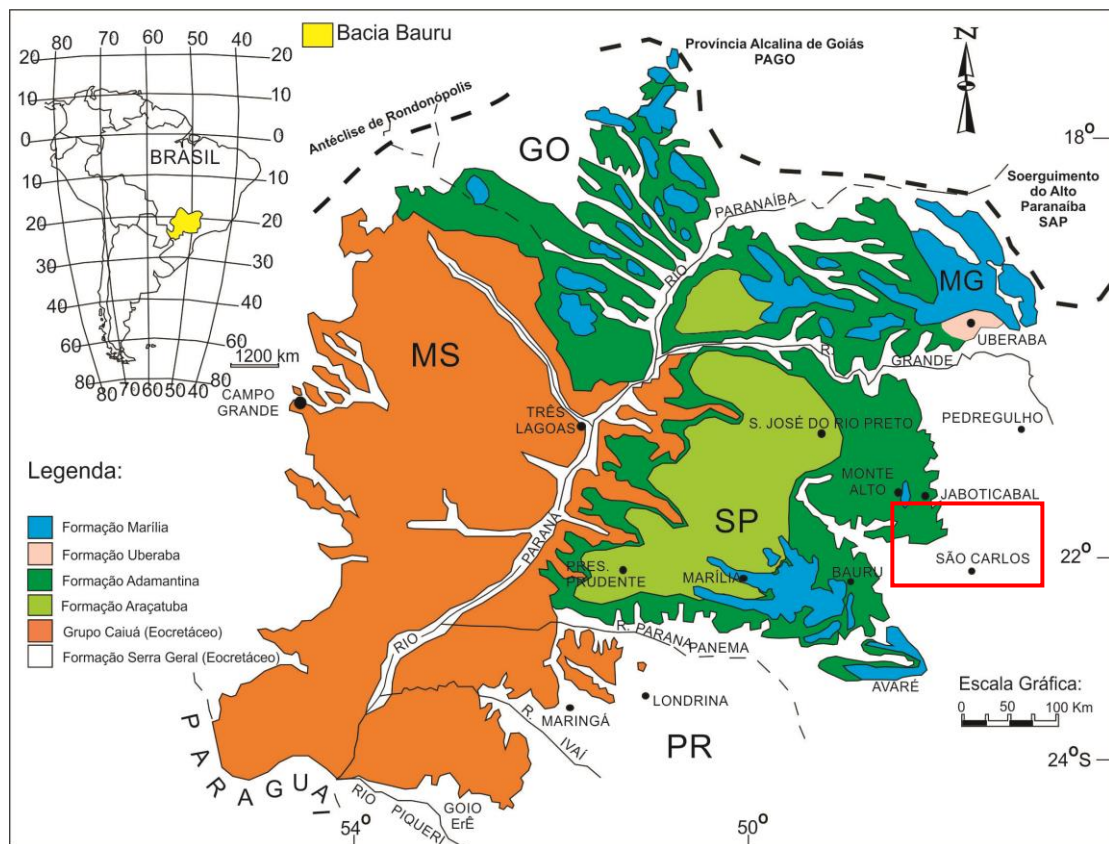


Figura 3. Mapa litoestratigráfico da Bacia Bauru (Batezelli, 2012). Destaque para a região em que se encontra a Formação São Carlos.

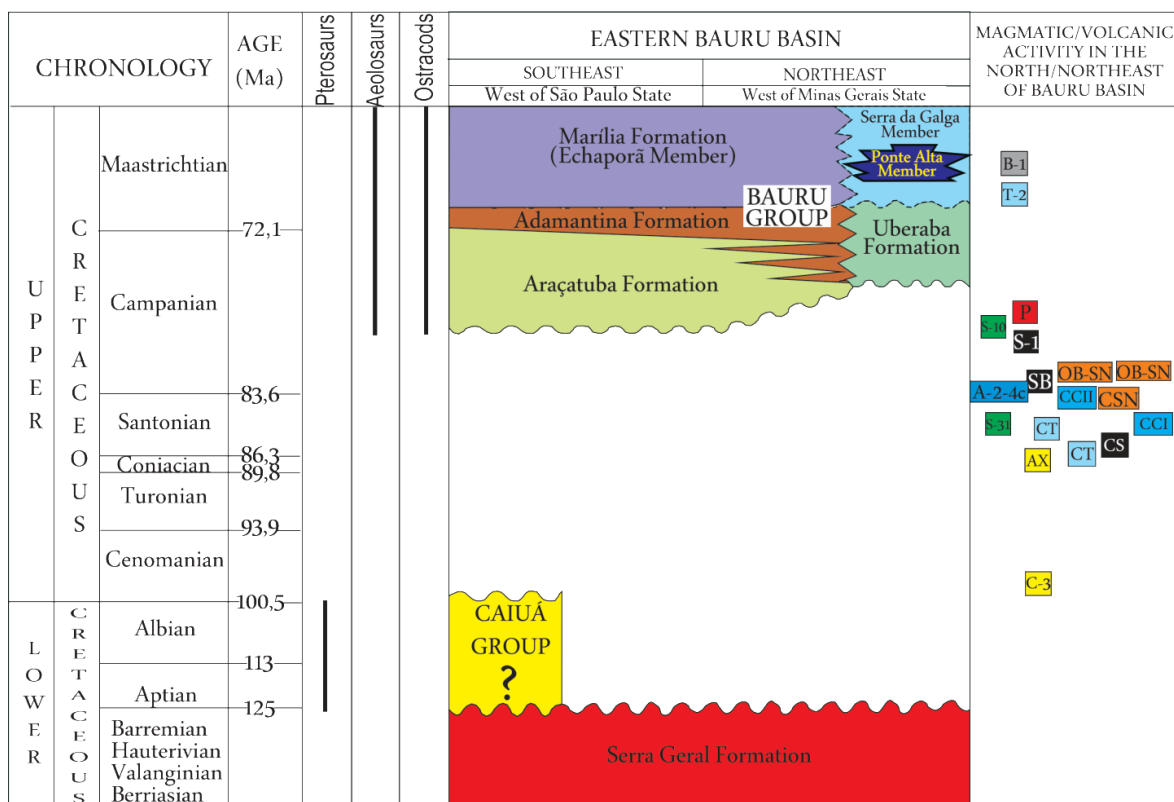


Figura 4. Carta cronoestratigráfica do Grupo Bauru no sudeste brasileiro [Modificado de Amaral *et al.* (1967; amostra CSN); Hasui & Cordani, (1968; amostras AX, C-3, S-10, S-31, A-2-4c, OB-SN, SB, S-1, P, T-2, B-1); Sonoki & Garda (1988; amostras CT, CS, CCI); Machado Junior (1992; amostra CCII); Guimarães *et al.* (2012); Fragoso *et al.* (2013, Pterossauros); Gobbo-Rodrigues (2001); Dias-Brito *et al.* (2001; Ostracodes); Santucci & Bertini (2001); Martinelli *et al.* (2011; Aelossaurus); Batezelli (2015)].

3.2 Contexto geológico local

A Formação São Carlos corresponde à porção inferior da sequência sedimentar dessa bacia e encontra-se logo acima da Formação Serra Geral, posicionada no topo dos derrames basálticos (Castro *et al.*, 2002; Neves, 2016). O estabelecimento dessa formação foi sugerido por Castro *et al.* (2002), como uma nova unidade litoestratigráfica para a Bacia Bauru, sendo, portanto, mais um registro continental datando do Cretáceo no Brasil. É composta por uma seção com 39 metros de espessura, aflorante ao longo de uma drenagem na Fazenda Nossa Senhora de Fátima, próxima das cidades de São Carlos e Ibaté (Figura 1).

A coluna correspondente a essa formação é constituída por três unidades básicas (Figura 5), segundo Castro *et al.* (2002): a base corresponde a um arenito cinza-esverdeado com uma espessura de aproximadamente 10,40 metros, com estruturas sedimentares mal preservadas e assenta-se sobre o basalto da Formação Serra Geral; o Membro Fazenda Nossa Senhora de Fátima (FNSF) possui três intervalos distintos representado por uma unidade areno-siltito-argilosa com 8,20 metros de espessura; a superior corresponde a um arenito com

estratificação cruzada acanalada e mais raramente laminação plano-paralela, sendo o contato entre essa unidade e o Membro FNSF abrupto.

As rochas do Membro FNSF foram inicialmente estudadas por Mezzalira (1974). É composto, de acordo com Castro *et al.* (2002), pelos intervalos: FNSF 2 – de maior importância para o trabalho – é formado por lâminas siltosas e argilosas representando uma deposição em área lacustre central. A porção inferior é denominada por Arai & Dias-Brito (2018) como Camada Ibaté e é diferenciada por sua coloração cinza escura e por ser mais rica em matéria orgânica que a parte superior. Esses autores interpretam que a Camada Ibaté foi formada em um ambiente de lago distal. Os intervalos FNSF 1 e 3 compreendem a porções mais proximais e rasas, com predominância de areia e argila. O Membro FNSF é relacionado estratigraficamente, por Arai & Dias-Brito (2018), as porções mais altas das Formações Adamantina e Uberaba, ambas pertencentes ao Grupo Bauru.

O ambiente descrito por esses autores para essas unidades são: condições lacustres marginais para a deposição do arenito inferior, um ambiente lacustre para o Membro FNSF e um regime fluvial para o arenito superior. A porção intermediária dessa seção, e enfoque dessa pesquisa, é resultado de uma acumulação que ocorreu no intervalo Coniciano-Santoniano (Castro *et al.*, 2002).

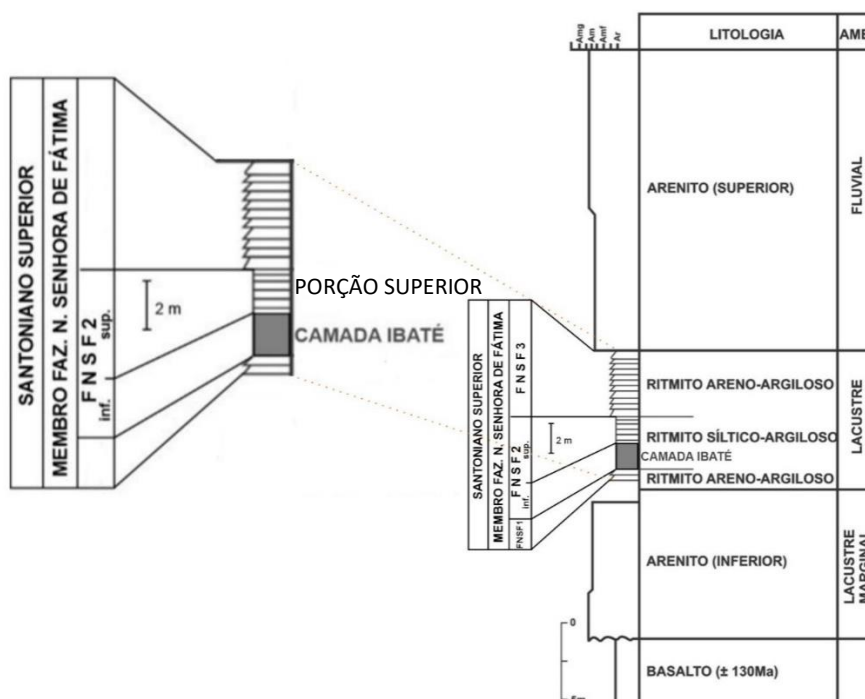


Figura 5. Seção-tipo da Formação São Carlos, com destaque para o estrato que contém o afloramento correspondente a Camada Ibaté e a porção superior que contém as valvas de conchostráceos (modificado de Castro *et al.*, 2002).

4. FÓSSEIS DESCRITOS NA FORMAÇÃO SÃO CARLOS

Dentre os fósseis do Grupo Bauru (Cretáceo Superior, Bacia Bauru), os mais conhecidos são crocodilianos, quelônios e arcossaurios. Porém, outros macrofósseis podem ser descritos para esses sedimentos como vegetais, ostracodes, conchostráceos e osteíctes. Nas últimas décadas, foram registrados para o oeste do estado de São Paulo fósseis de anfíbios anuros (Carvalho *et al.*, 2003), serpente anilioidea (Zaher *et al.*, 2003), aves Enantiornithes (Alvarenga & Nava, 2005) e lagarto esquamata (Nava & Martinelli, 2011). Os moluscos, entretanto, foram os fósseis menos estudados do Grupo Bauru.

Na Formação São Carlos a assembleia fossilífera é composta por invertebrados como gastrópodes, bivalves, conchostráceos e ostracodes, e vegetais na forma de: palinomorfos, tricomas e charcoals (Mezzalira, 1974; Mezzalira & Simone, 1999; Dias-Brito *et al.*, 2001; Dias-Brito *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2002; Rohn *et al.*, 2005). A microflora foi inicialmente descrita por Lima *et al.* (1986), que registraram pela primeira vez a presença de palinomorfos na Bacia Bauru. Posteriormente Arai *et al.* (2015) e Arai & Brito (2017) descreveram a assembleia microflorística, destacando a presença de espécies de grande valor estratigráfico, que permitiram a atribuição de uma idade Coniaciana-Santoniana a unidade, além de possibilitar o aprofundamento sobre a estratigrafia, paleoecologia, paleoclima e tectônica associados a mesma. A ocorrência de fragmentos de vertebrados e a presença de escamas é citada em vários desses trabalhos, porém ainda não há nenhuma descrição taxonômica a respeito.

Apesar da ocorrência dessa assembleia fossilífera na Formação São Carlos, na porção definida como Camada Ibaté não há a ocorrência de conchostráceos, enquanto que na porção superior - que apresenta menor ocorrência de matéria orgânica e de coloração mais clara - são encontrados fragmentos de concha preservados e/ou piritizados. Na camada superior foram encontrados menos fragmentos de vertebrados quando comparado a porção inferior e a densidade de moldes de moluscos também é menor que a da Camada Ibaté.

4.1 Moluscos fósseis descritos do Grupo Bauru

A descrição dos moluscos existentes no Grupo Bauru foi iniciada por Ihering (1913) com um fóssil de bivalve (*Itaimbea priscus*) encontrado no município de São José do Rio Preto, SP. Arid *et al.* (1962) descrevem, pela primeira vez, um gastrópode em afloramentos nas imediações dessa mesma cidade. Mezzalira (1966), Suarez & Arruda (1968) e Parodiz (1969) aumentaram o número de espécies de moluscos descritas para o estado de São Paulo, porém, o trabalho de Mezzalira (1974) foi o responsável por descrever e classificar a maior

quantidade de táxons de forma mais precisa (?*Hydrobia prudentinensis*, *Viviparus souzai*, *Physa aridi*, *Diplodon arrudai*, *Florenceia peiropolensis*, *Sancticarolis tolentinoi*, *Taxodontites paulistanensis*, *Anodontites freitasi*, *Anodontites pricei* e *Monocondylaea cominatoi*), realizando a organização sistemática dos moluscos do Grupo Bauru.

Simone & Mezzalira (1993) descreveram o bivalve Unionoidea (*Anodontites freitasi*) no estado de São Paulo. Campanha *et al.* (1993) caracterizaram os gastrópodes ?*Hydrobia* sp. e *Turritella* sp. entre os municípios de Uberaba e Uberlândia, MG. Senra & Silva (1999) relataram a ocorrência de gastrópodes (*Physa aridi* e *Viviparus souzai*) e microbivalves, provisoriamente classificados como pertencentes ao gênero *Musculium*, em afloramentos da região de Uberaba. Mezzalira & Simone (1997) descreveram os gêneros *Florenceia*, *Sancticarolis* e *Taxodontites*. Mezzalira & Simone (1999) as espécies do gênero *Castalia* para sedimentos do Grupo Bauru (*C. cretacea* e *C. minuta*). Ghilardi *et al.* (2007) apresentaram uma possível, nova espécie, de Iridinideo (*Itaimbea* sp.) na Formação Marília. Os trabalhos de Ghilardi & Benedetti (2004), Ghilardi *et al.* (2006), Ghilardi *et al.* (2010a, 2010b) forneceram considerações sobre ecologia e a tafonomia de espécies fósseis do gênero *Anodontites*.

Mezzalira (1974) apresenta a descrição taxonomica do gastrópode *Viviparus souzai* n. sp. através da análise de quatro espécimes. Os exemplares foram descritos como uma concha pequena, globosa, umbilicada, dextra, paucispiral e evoluta. A espira foi descrita como curta, com voltas convexas e suturas profundas, atingindo 4 voltas, sendo a última não muito larga, com fraca descendência e marcas de linhas de crescimento. Foi observado pelo autor uma abertura circular, umbílico largo e profundo, com o ápice ligeiramente fragmentado. O ângulo de sutura variou de 2 a 5° e o ângulo apical de 70 a 75°.

Ghilardi *et al.* (2011) descrevem que o bivalve encontrado na Formação São Carlos é uma ocorrência do gênero *Sancticarolis* Mezzalira, 1974. Trata-se de uma concha pequena, subelítica, equivalva, inequilatera, levemente expandida na porção posterior e moderadamente entumecida na região umbonal. O umbo é submediano, relativamente baixo; com bico pequeno e pouco saliente; prosógiro; crista umbonal levemente definida. A borda dorsal é subangulosa com a extensão posterior maior que a anterior; a borda ventral é moderadamente convexa. A borda posterior é curta, oblíqua e ligeiramente convexa. As linhas de crescimento são finas, subconcêntricas e nítidas. Impressões musculares e linha palial são imperceptíveis e a concha aparenta possuir paredes delgadas.

4.2 Teleósteos fósseis descritos no Grupo Bauru

O Grupo Bauru contém uma das mais ricas e diversificadas assembleias de vertebrados fósseis do Cretáceo Superior da América do Sul, sendo os teleósteos, tartarugas, crocodiliformes e dinossauros os grupos de melhor diversidade taxonômica e abundância (Bertini *et al.* 1993; Candeiro *et al.*, 2006). Porém, os vertebrados remanescentes, mais especificamente teleósteos, quelônios e anuros obtiveram menor enfoque nos estudos paleontológicos. Os fósseis encontrados são difíceis de serem atribuídos a um determinado grupo taxonômico por suas evidências se apresentarem bastante fragmentadas – seu registro é predominantemente composto por “microrestos”, constituído principalmente de dentes isolados, ossos desarticulados e/ou retrabalhados, o que dificulta bastante os avanços dessas descrições (Alves, 2012).

Na literatura existem diversos registros de escamas ganóides para esta bacia (Pacheco, 1913; Price 1955; Arid & Vizzoto, 1963; Mezzalira, 1959, 1966), porém somente uma espécie de teleósteo foi descrita, *Lepisosteus cominato* (Santos, 1984 *apud* Alves, 2012) – fóssil composto de um fragmento parcial do corpo, sem o crânio, e escamas isoladas na Formação Adamantina. Ainda há dentes de *Actinopterygii* que ocorrem em diversas unidades liotestratigráficas dentro dessa bacia, com cinco grupos citados, Lepisosteiformes, Osteoglossiformes, Characiformes, Siluriformes e Peciformes (Bertini *et al.*, 1993; Azevedo *et al.*, 2007; Figura 6). Também foram encontrados fósseis na Bacia Bauru da Ordem Dipnoi, presentes no registro geológico no intervalo do Devoniano ao Mioceno/Plioceno. Além de um espinho dorsal de Cichlidae ou de Percichthyidae - porém devido as características estruturais apresentadas pelo fóssil concluiu-se que não se trata de um Perciforme (Brito *et al.* 2006).

No Grupo Bauru as formações que possuem importantes registros de teleósteos fósseis são: a porção superior da Formação Marília (localizada no Triângulo Mineiro) e a porção inferior da Formação Adamantina (no Município de Santo Anastácio), onde são encontrados abundantes dentes isolados e ossos desarticulados e fragmentados (Brito *et al.*, 2006). Gayet & Brito (1989) e Bertini *et al.* (1993) foram os primeiros autores a descreverem os fósseis pertencentes as formações Marília e Adamantina, registrando a presença de: escamas, vértebras, raios de nadadeira, fragmentos de mandíbula, além de dentes isolados e fragmentos cranianos com densidade e dimensões idênticas aos encontradas no holótipo de *L. cominato*; vários fragmentos de dentes isolados atribuídos a Characoidei; espinhos dorsais e peitorais, com fragmentos atribuídos a cleitros e ao teto craniano pertencentes à Ordem Siluriformes; escâmulas atribuídas a Osteoglossidae e várias placas dentárias atribuídas a *Neoceratodus* sp.

Na Tabela 3 encontra-se, de forma organizada, a distribuição geográfica dos teleósteos fósseis no Grupo Bauru.

Fragmentos fósseis de Siluriformes são comuns tanto na região de Uberaba quanto na de Santo Anastácio e representam o mais antigo registro desta ordem para a América do Sul. Esses fósseis do Cretáceo Superior, além de existirem no Brasil, também foram encontrados na Bolívia e Argentina. Ainda ocorrem dentes isolados da Ordem Characiformes na Formação Marília, que representam o registro mais antigo dessa ordem no país.

Laurini (2007) em uma pesquisa realizada com microrestos de teleósteos descreveu espinhos da nadadeira de Siluriformes, escamas ganóides do tipo lepisosteóide, dentes pertencentes a Lepisosteiformes e à Characiformes e uma vértebra de Osteichthyes. No trabalho de Laurini (2007) foram determinados três novos táxons: *Lepisosteus cominato* Santos 1984, Siluriformes indet. e Characoidei indet.

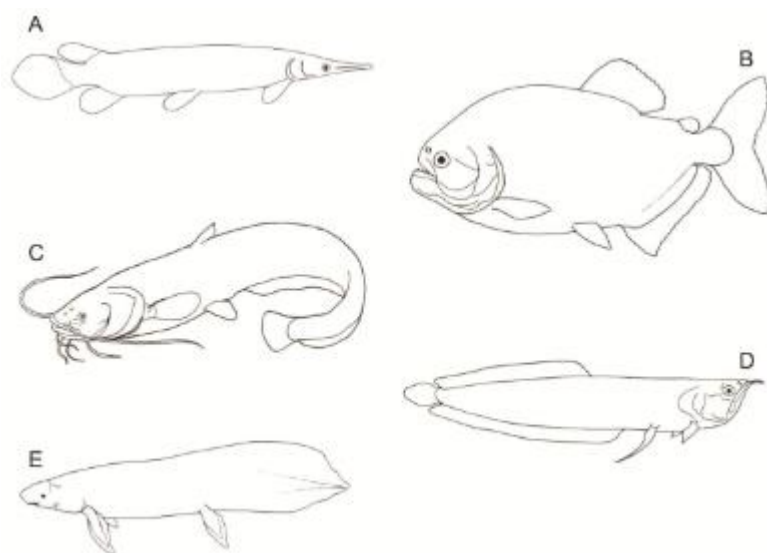


Figura 6. Reconstituição da paleoictiofauna presente no Grupo Bauru. **A.** Lepisosteiformes. **B.** Characiformes. **C.** Siluriformes. **D.** Osteoglossiformes. **E.** Dipnoiformes (Modificado de Hubner, 2005 e Alves, 2012).

Tabela 3. Distribuição geográfica dos teleósteos fósseis no Grupo Bauru [(Gayeez & Brito, 1989; Bertini *et al.*, 1993; Laurini, 2007; Azevedo *et al.*, 2007; Nava & Brito, 2008; Candeiro *et al.*, 2010; Alves *et al.* (em prep.); Alves 2012].

Taxa /Localidades	Santo Anastácio	Uberaba	Ibirá	Alvares Machado	Alfredo Marcondes	Jales	Flórida Paulista	Marília	Presidente Prudente
Lepisosteidae									
Osteoglossiformes									
Erythrinidae-like									
Tetragonopterinae-like									
Siluriformes									
Ceratodontidae									
Asiatoceratodontidae									

4.3 Carvões de queimada- *Charcoals*

O *charcoal* apresenta duas características fundamentais, segundo Scott (2010): a sua identificação taxonômica, uma vez que a anatomia da planta é preservada em fragmentos de alguns microns de tamanho; e por ser relativamente inerte e facilmente preservado no registro fóssil.

Esse material é resultante da combustão incompleta da vegetação, embora animais, particularmente invertebrados, possam também ser preservados como *charcoals* (Harris, 1958; Scott *et al.*, 2000; Jarzembowski, 2003) a partir de incêndios provocados até por atividade vulcânica. De acordo com Scott (2010) a planta é submetida a um rápido aquecimento a alta temperatura permitindo a decomposição da celulose dos seus tecidos. Esse processo produz grupos voláteis, que incluem CO, CO₂ e CH₄, e esses quando se misturam ao oxigênio atmosférico ajudam na produção de calor e, portanto, na perpetuação da queimada. Dentro do tecido da planta forma-se uma frente de carbonização, o calor gerado pelo fogo penetra nos tecidos da planta, onde há pouco ou nenhum oxigênio - resultando em uma reação de pirólise (decomposição térmica). Se essa reação for interrompida antes da combustão completa então o carvão é deixado como resíduo.

Scott (2001) define que *charcoals* macroscópicos (> 1mm) e mesoscópicos (180 µm - 1 mm) geralmente preservam informações anatômicas enquanto que o microscópico (< 180 µm), mesmo não podendo ser taxonomicamente identificável, ainda fornece o registro de queimadas em depósitos terrestres ou marinhos. O transporte de carvão microscópico, segundo Scott (2010), pode ser feito pelo vento e, conseqüentemente, percorrer maiores distâncias que as partículas de maiores dimensões. Dessa forma, Scott (2010) considera que o *charcoal* de tamanho microscópico pode refletir casos de incêndios regionais enquanto que tem sido frequentemente assumido que a ocorrência de carvão macroscópico está relacionada a incêndios locais. Mas, o mesmo autor, apresenta que a maioria do carvão macroscópico pode ser transportado através da água e assim ser depositado a uma distância considerável da queimada original.

Scott (2010) descreve que o *charcoal* flutua quando em contato com água e leva algum tempo para se estabilizar, resultando em duas conseqüências: a primeira é que o carvão quando em suspensão na água sofre abrasão mínima, de modo que, seu estado de conservação não é necessariamente um fator do transporte; a segunda é que o carvão pode percorrer longas distâncias antes de ser depositado, isto implica que a ocorrência de grandes fragmentos de carvão não significa que representem um incêndio local. O autor afirma que a classificação de

uma assembleia pode oferecer as evidências de transporte: uma assembleia compreendendo todos os tamanhos (macroscópico, mesoscópico e microscópico) pode implicar transporte mínimo e indicar um incêndio local. Chuvas e tempestades ocorridas após esses incêndios podem transportar fragmentos de carvão e sedimentos por um processo de escoamento superficial, sendo transportado do local do incêndio para um sistema fluvial e ser depositado dentro de um canal, várzeas, lagos ou mesmo no mar (Scott, 2010).

Brown *et al.* (2012) apresentam evidências de ocorrências globais de carvão durante todo o Cretáceo indicando que os incêndios foram generalizados e frequentes, denominando o Cretáceo como um mundo de "alto fogo". Os autores mostram que esse aumento na ocorrência de incêndios tem sido associado a elevadas concentrações de oxigênio atmosférico. Ocorreram nesse período, segundo Brown *et al.* (2012), grandes mudanças na vegetação, de modo que as angiospermas expandiram o seu domínio prosperando nos ambientes perturbados por essas queimadas, promovendo o aumento da sua diversificação. Brown *et al.* (2012) ainda especulam que esses incêndios durante o Cretáceo teriam gerado maiores volumes de escoamento superficial e erosão, levando à mobilização de quantidades significativas de fósforo para ambientes marinhos, contribuindo para as florações planctônicas e seus eventos anóxicos associados. Arai & Dias-Brito (2018) defendem florescimentos (*blovoms*) episódicos, induzidos provavelmente por processos de eutrofização, ocorridos nesse antigo lago devido às quantidades significativas de microalgas observadas em algumas amostras.

Arai *et al.* (2006) registraram pela primeira vez o chamado “Grande incêndio do Santoniano” na região que compreende as bacias *offshore* de Santos e Campos, no oeste do Atlântico Sul, e foi interpretado como uma série de eventos associados à atividade vulcânica. Arai & Dias-Brito (2018) observaram a existência de *charcoals* nesses estratos, além de palinomorfs bem preservados, indicando a coexistência desses com matéria orgânica carbonizada, sugerindo intervalos de recuperação da vegetação. Também foram encontrados tricomas (*Trichomites* spp.) e astroescleídes (*Stellatia* spp.). A Camada Ibaté foi depositada no final do Santoniano quando, segundo Arai & Dias-Brito (2018), ocorreu o clímax das queimadas. Devido a distância que separa a região de São Carlos do litoral, esses autores acreditam que os incêndios registrados nesse estrato estejam associados à atividade vulcânica ocorrida no interior do país, estimando uma área localizada a cerca de 100 quilômetros de distância da formação (Coutinho *et al.*, 1982; Dias-Brito *et al.*, 2001).

4.4 Madeira ou lenho vegetal (xilema)

O xilema é o tecido responsável pelo transporte de água e solutos, armazenamento de nutrientes e suporte mecânico das plantas, constituindo o tecido vascular do vegetal juntamente com o floema (formam um sistema vascular – contínuos através de todos os órgãos) e muitas vezes é preservado nos *charcoals*. Os xilemas primários e secundários apresentam as mesmas estruturas celulares: os elementos traqueais (condutores), as células parenquimáticas e as fibras, a diferença entre eles é que o primário é organizado apenas no sistema axial (Costa *et al.*, 2006). O desenvolvimento do xilema secundário contribui para o crescimento do corpo vegetal em espessura, devido o acréscimo de novas células e quando atinge seu estágio completo de evolução permite a formação da madeira ou lenho. Trata-se de um tecido vegetal complexo, cujos diferentes tipos de células podem se organizar de acordo com o sistema axial (vertical) e radial (horizontal; Costa *et al.*, 2006).

As plantas apresentam dois tipos básicos de elementos traqueais: traqueídes (são imperfuradas) e elementos de vaso (dotados de placas de perfuração). As traqueídes são típicas das gimnospermas, podendo ser encontradas em famílias basais de angiospermas. Os elementos de vaso, segundo Costa *et al.* (2006), são característicos das angiospermas e das ordens mais evoluídas das gimnospermas (p.ex. *Gnetales*) – ocorrem em fileiras longitudinais e a comunicação por meio das placas de perfuração, permitindo a formação dos vasos. Nessas estruturas a parede terminal de cada extremidade sofre um processo de dissolução, resultando na placa de perfuração. Essa dissolução pode ser classificada como total, originando uma placa de perfuração simples, ou parcial, que constituem as placas de perfuração foraminada, reticulada, escariforme, mista e radiada.

As fibras são células de sustentação, responsáveis pela rigidez ou flexibilidade da madeira e possuem forma alongada com as extremidades afiladas, sendo que o eixo longitudinal do tronco apresenta a maior dimensão. Essas estruturas podem ser divididas em libriformes, que apresentam pontoações simples, e as fibrotraqueídes, com pontoações areoladas, sendo possível ocorrerem ambas na mesma espécie vegetal (Costa *et al.*, 2006). As pontoações simples são encontradas também nas células do parênquima axial e radial e, as areoladas, nos elementos de vaso e traqueídes – a parede secundária forma uma projeção sobre a cavidade da pontoação (chamado de câmara da pontoação) deixando no centro uma abertura (poro ou abertura da aérula; (Costa *et al.*, 2006).

O parênquima axial desempenha a função de armazenamento e de translocação de água e solutos a pequenas distâncias, sendo mais associados às angiospermas, e de modo raro e/ou ausente nas gimnospermas. Na estrutura da madeira pode ser identificado por

apresentar células alongadas no sentido vertical e paredes mais delgadas, quando há a comparação com as paredes dos elementos de vaso e das fibras. O parênquima radial desempenha a mesma função, mas principalmente no sentido lateral e esses raios são compostos, de forma geral, por três tipos de células parenquimáticas: procumbentes, eretas e quadradas (Costa *et al.*, 2006).

5. PERMINERALIZAÇÃO POR SULFETOS – PIRITIZAÇÃO

A piritização é um processo onde os elementos que constituem os fósseis são substituídos ao longo do tempo geológico por pirita (FeS_2). As bactérias redutoras de sulfato decompõem a matéria orgânica (fonte de energia) usando o sulfato (SO_4^{2-}) como receptor de elétrons na respiração anaeróbica e comumente conduzem para a redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} , levando assim à mineralização da matéria orgânica. A precipitação de pirita requer a disponibilidade de ferro reativo e de fontes ambientais de sulfato, além da presença de matéria orgânica degradável (Óses *et al.*, 2017).

6. RESULTADOS

Nesse capítulo será apresentado os resultados obtidos a partir das técnicas definidas para a execução dessa pesquisa. Foi realizada a descrição dos gastrópodes anteriormente estudados por Mezzalira (1974), junto com uma análise estatística com a finalidade de compreender a variação de tamanho entre os espécimes encontrados. A diferenciação dos fragmentos de vertebrados em possíveis três táxons diferentes. Descrição das estruturas vegetais identificadas nos *charcoals*, da matriz rochosa por meio das lâminas petrográficas e dos resultados composicionais obtidos para os diferentes fósseis investigados, a fim de realizar um avanço nos estudos taxonômicos da Camada Ibaté.

6.1 Gastrópodes *incertae sedis*

Os gastrópodes encontram-se preservados como moldes, moldes piritizados e/ou com uma película escura – ocorrendo principalmente na região que correspondia ao ápice da concha. São preservados com o seu eixo mais longo (altura) paralelo ao plano de acamamento, variando de 1 a 3 mm. As conchas são geralmente pequenas, conospirais, de forma cônica a ovóide, orthostróficas (quando o crescimento da concha segue um plano normal), e de ângulo apical principalmente entre 100 a 110°. São possivelmente dextrais, apenas uma abertura pôde ser observada até o momento (Figura 7AB). Os moldes possuem de 3 a 4 espiras (Figura 7CD), raramente 5 (Figura 7E); todos são inflados, arredondados,

involutos (com a última volta recobrindo as anteriores), e apresentam suturas finas e profundas. O corpo é ampliado, sendo igual em tamanho, ou maior que as espiras. Alguns apresentaram linhas de crescimento muito finas na superfície.

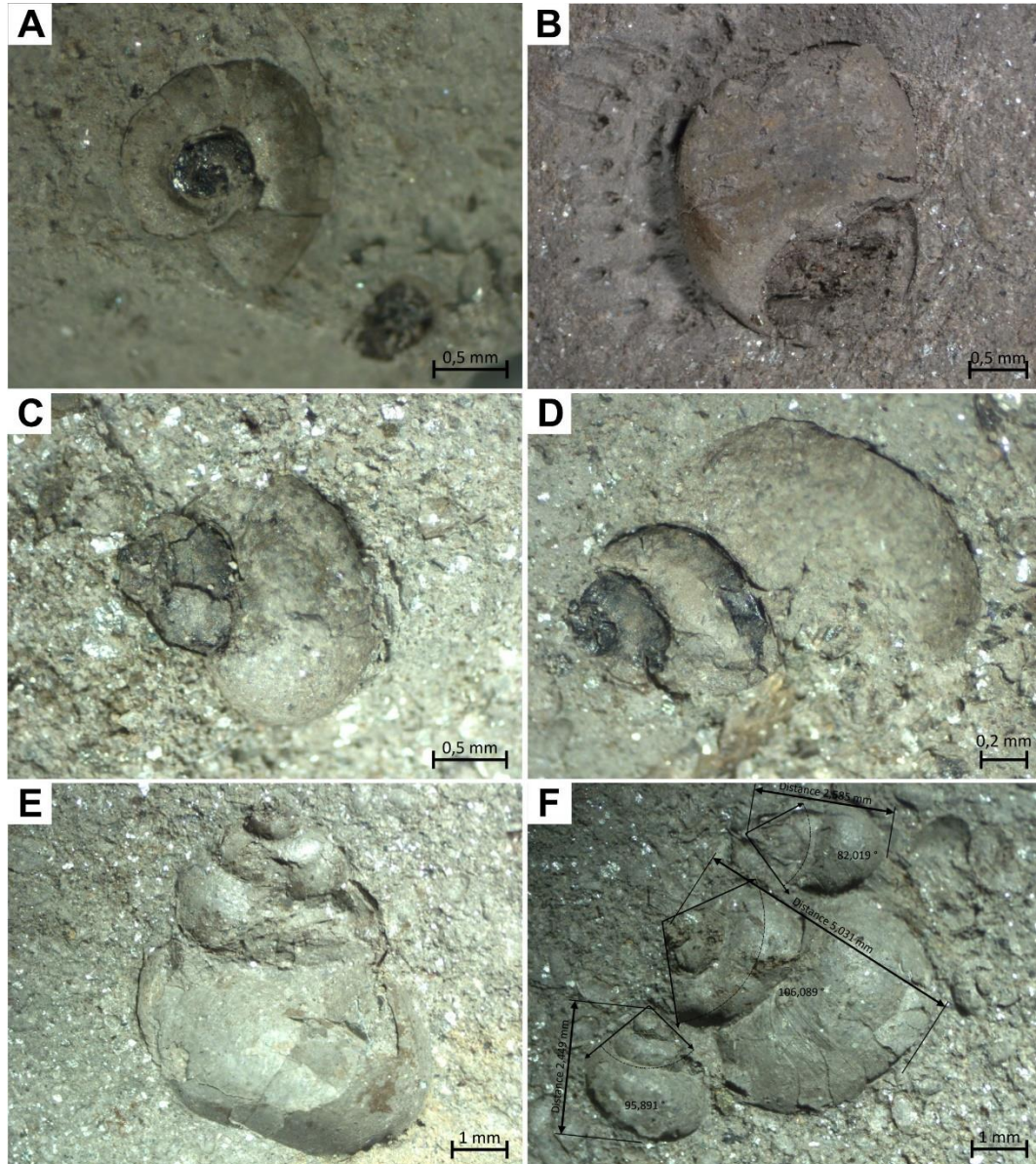


Figura 7. Imagens dos moldes de gastrópodes presentes no Membro FNSF2. **A.** Vista superior do molde da concha (Amostra CP4 18B); **B.** Vista umbilical do molde da concha (Amostra CP4 41J); **C.** Eixo mais longo paralelo ao substrato com 3 voltas na sua espiral da concha (Amostra CP4 18A), nota-se a presença de piritização nas duas primeiras voltas do molde; **D.** Eixo mais longo paralelo ao substrato com 4 voltas na sua espiral da concha (Amostra CP4 18A), nota-se a presença da película escura nas duas primeiras voltas do molde; **E.** Eixo mais longo paralelo ao substrato com 5 voltas na sua espiral da concha (Amostra CP4 11); **F.** Eixo mais longo paralelo ao substrato com medidas de altura e ângulo apical. Os moldes variam de 3 a 4 voltas e é nítido a variação de tamanho entre eles (Amostra CP4 11).

Uma vez que as medidas iniciais para a altura e o ângulo apical estavam apresentando grande variação para cada novo molde medido (Figura 7F) e os valores obtidos estavam se

afastando do definido por Mezzalira (1974) para o *Viviparus souzai* – caracterizou o ângulo apical para os gastrópodes desse afloramento no intervalo de 70 a 75° –, foi realizada uma análise estatística, a fim de melhor entender os motivos dessa discrepância. Para isso, utilizou-se o *software* R e foram elaboradas diferentes representações gráficas para um espaço amostral de 229 moldes.

O primeiro gráfico apresentado é o que considera o número de voltas em cada molde de concha, sendo na ordenada o número de espécimes e na abcissa o número de voltas (Figura 8). Esse permitiu observar que a maioria dos moldes apresentam três voltas em sua espiral, atingindo quase 120 moldes de concha, seguido pelo número de quatro voltas, aproximadamente 105 e mais raro com cinco voltas, menos de cinco fósseis.

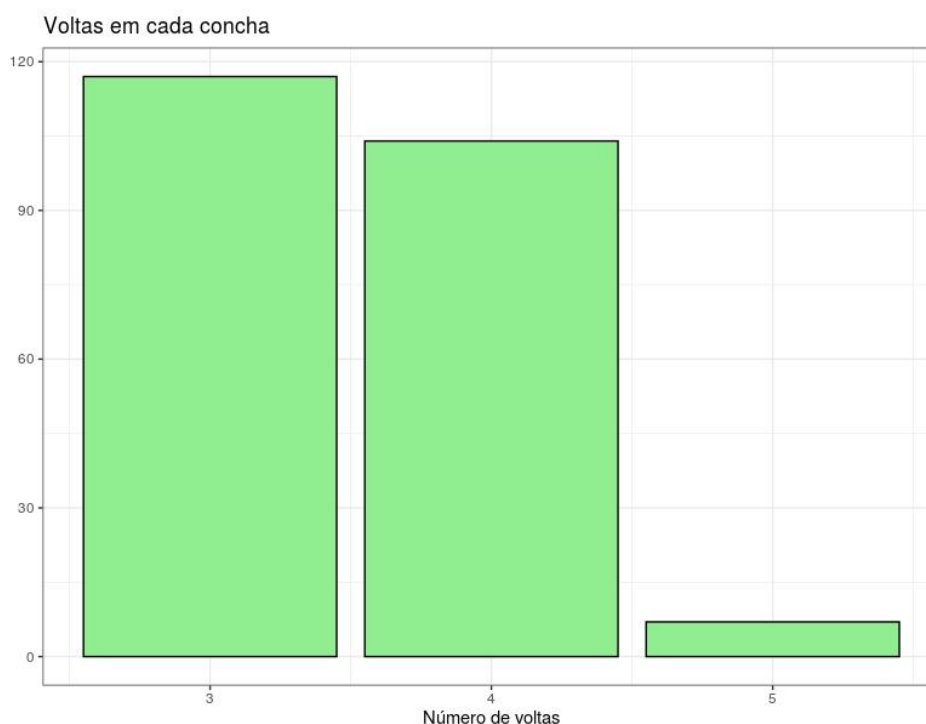


Figura 8. Gráfico colunar representando o número de voltas em cada molde de concha de gastrópode, obtido a partir do *software* R.

A partir do histograma das alturas (Figura 9) – ordenada é representada pelo número de moldes de gastrópodes e na abcissa o tamanho da altura em milímetros – percebeu-se a formação de uma calda à direita pesada, ou seja, demonstrando que a maioria dos moldes variam dentro do intervalo de um a três milímetros. O valor mínimo obtido para o maior eixo da concha foi de 0,24 mm na amostra CP4 41Q, enquanto que o valor máximo foi de 7,87 mm na amostra CP4 7.

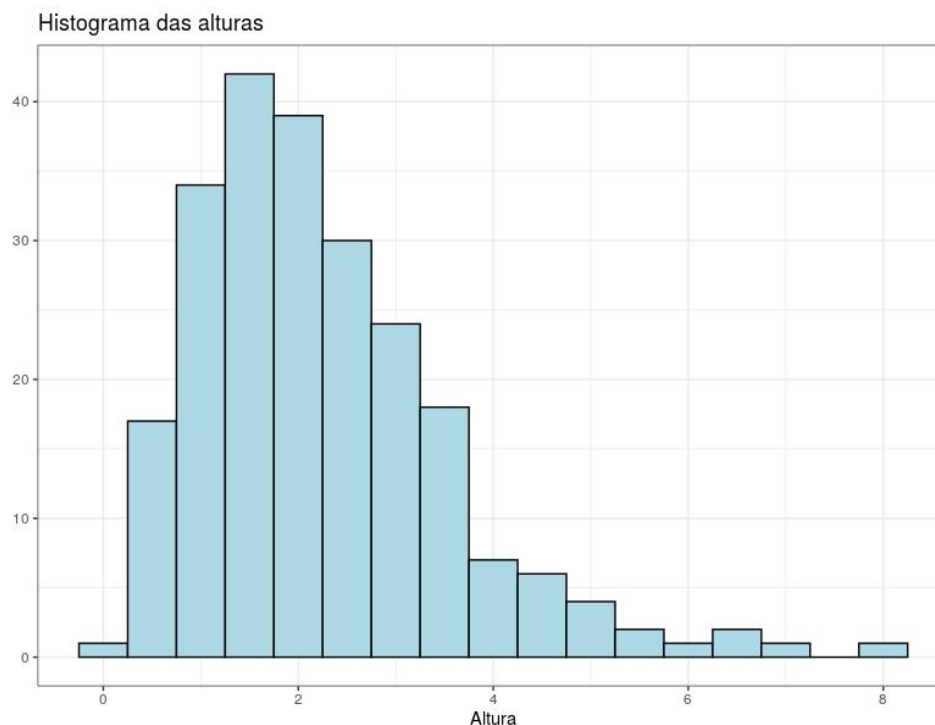


Figura 9. Histograma resultante para os dados de altura dos moldes de conchas de gastrópodes, obtido a partir do *software* R. Apresenta uma concentração dos dados à direita.

Com o histograma de ângulos (Figura 10A) – ordenada é representada pelo número de moldes de gastrópodes e na abcissa as medidas para ângulo apical – notou-se que a maioria dos valores obtidos se encontram no intervalo de aproximadamente 90 a 125°. Porém, há medidas variantes de 57,7° (correspondendo ao menor ângulo) a 144,83° (maior valor encontrado) dentre os exemplares medidos. O histograma obtido em coordenada polar (Figura 10B) permitiu uma melhor visualização dessa variação. Em vermelho foi destacado o intervalo definido por Mezzalira (1974), que caracterizou que os gastrópodes dessa camada possuíam uma variação de ângulo apical de 70 a 75°, considerando uma análise com 4 espécimes. Apesar da tabela de dados apresentar um espaço amostral de 229 fósseis, não foi possível realizar para todos os indivíduos observados a medida de ângulo, pois em muitos deles essa região não foi bem preservada ou por não estar com o eixo maior perfeitamente paralelo ao acamamento, dificultando a obtenção dessa medida. Dessa forma, há 46 valores faltantes para esse parâmetro.

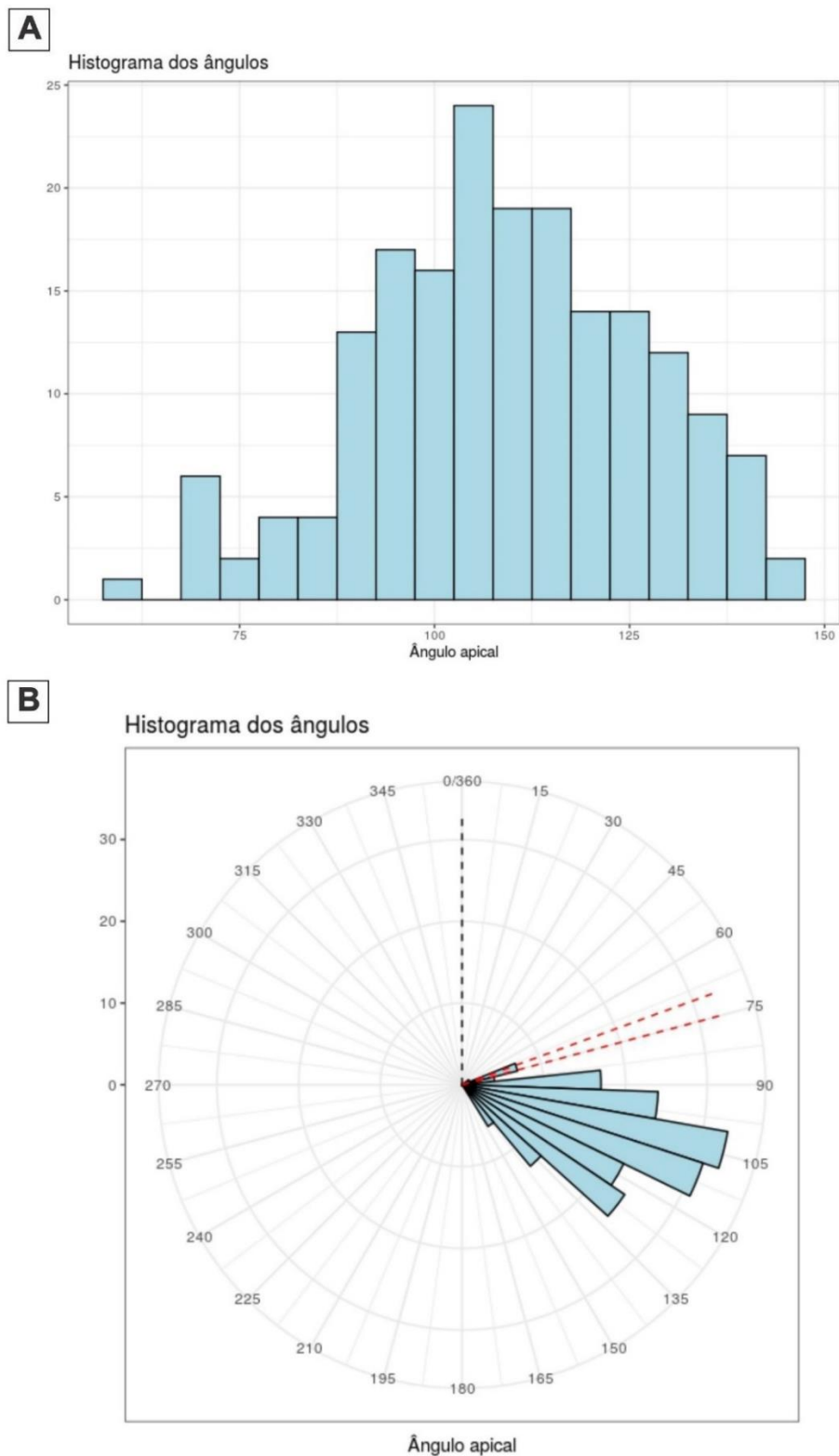


Figura 10. Histograma resultante para os dados de ângulo apical dos moldes de conchas de gastrópodes, obtido a partir do *software* R. **A.** Histograma dos ângulos, percebe-se que as maiores ocorrências estão no intervalo de 90 a 125°, mas há medidas variantes de 57,7°, correspondendo ao menor ângulo a 144,83°, maior valor encontrado dentre as amostras analisadas; **B.** Em coordenada polar, com destaque para o intervalo caracterizado por Mezzalira (1974).

Ainda foi elaborado um gráfico que representa as características dos moluscos observados (Figura 11), considerando a altura na ordenada, o ângulo apical na abcissa e os pontos são diferenciados pelo número de voltas que suas espirais apresentam – variam de 3 a 5 voltas. Na elaboração desse gráfico foram desconsideradas as amostras que não continham as medidas para as três variáveis consideradas, assim, 46 espécimes foram descartados. Na legenda há além das discriminações do número de voltas um NA, ou seja, um indicativo de quando a informação não aparece no banco de dados – há um número faltante para o número de voltas, que não pode ser diferenciado devido a fragmentação do molde.

A marcação em azul representa o intervalo determinado por Mezzalira (1974) de 70 a 75° para a espécie de *Viviparus souzai*. Com a distribuição dos pontos resultante não fica evidente possíveis diferenças que caracterizariam a existência de diferentes populações de gastrópodes. Porém, foi possível notar que os indivíduos que apresentavam as maiores alturas podem ser relacionados aos menores ângulos, enquanto os que apresentaram os menores valores para essa característica estão correlacionados aos maiores ângulos.

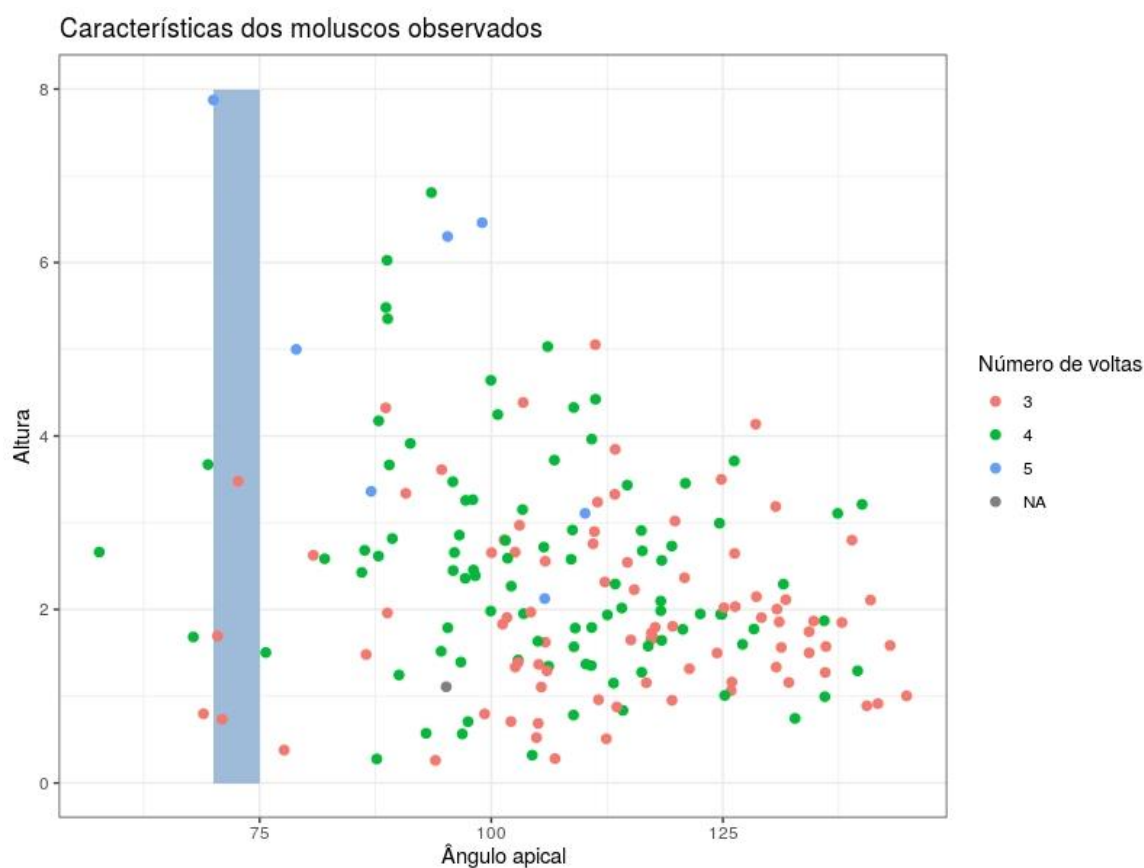


Figura 11. Gráfico que apresenta as características observadas nos moldes das conchas de gastrópodes, considerando a altura, o ângulo apical e o número de voltas, obtido a partir do *software* R. Destacado em azul está o intervalo de ângulo apical determinado por Mezzalira (1974). É possível observar como as novas medidas

apresentam valores muito maiores que o esperado. Com a distribuição dos pontos não foi possível determinar a existência de diferentes populações de gastrópodes de modo evidente.

Em uma tentativa de buscar definir se os dados podem ser separados em diferentes grupos foi realizada uma análise de *cluster de K-means* – trata-se de um algoritmo de agrupamento de dados que procura encontrar similaridades entre as medidas e agrupá-las conforme o número de grupos definidos. No caso, iniciou-se com um teste para dois grupos (Figura 12), depois considerando três ou quatro grupos distintos. Como desde a separação em dois grupos não ressaltou a ocorrência de duas populações distintas, os resultados obtidos para as outras duas situações também não permitiram a definição de mais de um grupo.

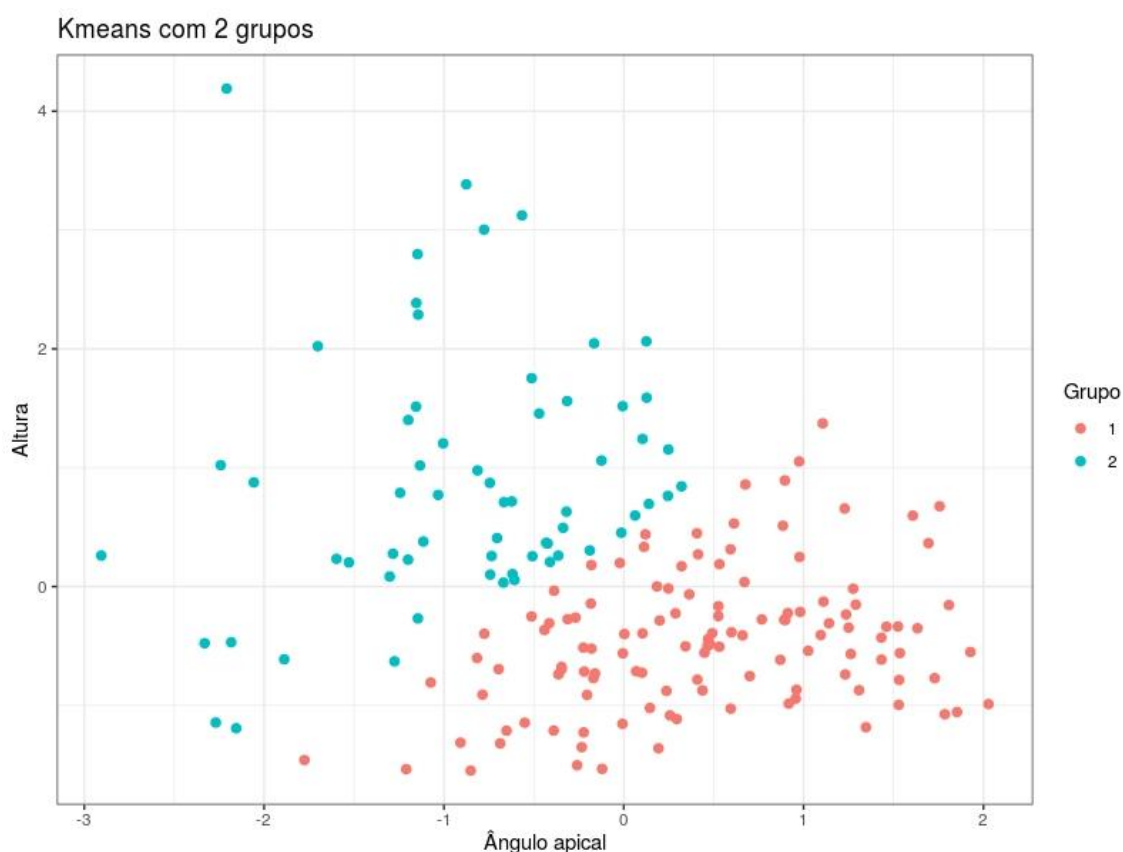


Figura 12. Gráfico resultante de uma análise de *cluster de K-means* para os dados obtidos através dos moldes de gastrópode através do *software R*. Foi determinado a divisão em dois grupos diferentes, o Grupo 1 é representado pelos pontos de coloração rosada e o Grupo 2, em azul. Porém, essa divisão não aparenta ser real, uma vez que não há uma disparidade nos pontos que confirme a ocorrência de duas populações diferentes.

6.2 Fragmentos de Osteíctes

Classe Actinopterygii

Ordem Siluriformes

Espécimes de fragmentos desarticulados e isolados; espinho dorsal de nadadeira

Descrição: Espinhos de nadadeiras peitorais com a presença de serrilhas (dentes) em um dos lados do fragmento de osso. Além disso, a base do espinho tem um formato complexo, todo recortado, que serve para dar certa mobilidade ao conjunto da nadadeira (Figura 13).

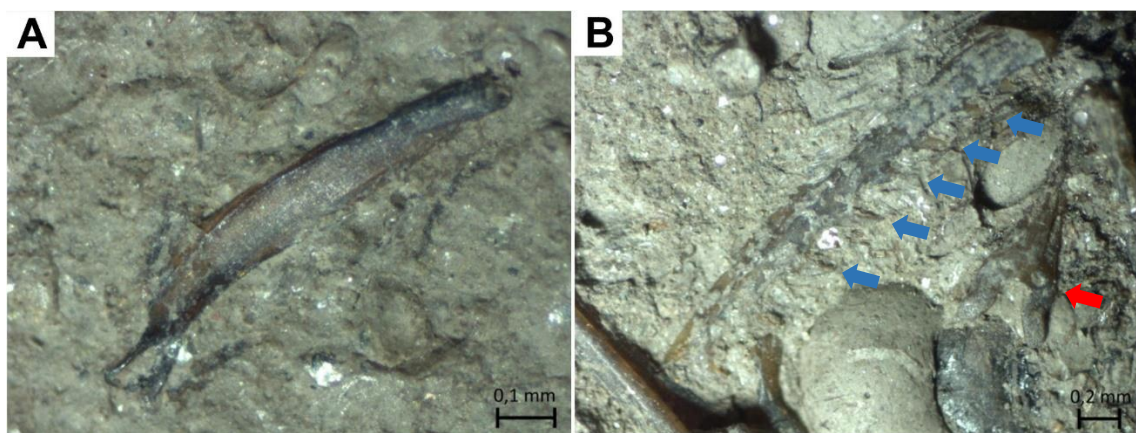


Figura 13. Fragmentos diagnósticos da ordem dos Siluriformes. **A.** Provável espinho nadadeira de Siluriformes (Amostra CP4 5); **B.** Espinho de nadadeira peitoral de Siluriformes, notar os dentículos em forma de gancho aparentemente em apenas um dos lados da nadadeira (setas azuis). Logo acima do gastrópode há apenas a base de um espinho, ele é simétrico (seta vermelha) e, portanto, deve ser um espinho de nadadeira dorsal de Siluriformes (Amostra CP4 18A).

Osteíctes incertae sedis

Dentre o material observado foram encontrados escamas e outros fragmentos ósseos que não se encaixavam na classificação de Siluriformes, dessa forma, acredita-se que podem ocorrer mais dois táxons diferentes no mesmo material. Em algumas das amostras é possível identificar espinhos isolados (Figura 14) e em outros há uma expansão na parte mais distal que aparentam permitir uma conexão (suporte) com as nadadeiras dorsais (Figura 14). Foi possível ainda reconhecer pequenas sequências de vértebras e espinhos articulados (Figura 14). Quanto às escamas, aparentemente há dois tipos bem distintos: um tipo de escama cicloide e uma escama aparentemente lisa (Figura 14).

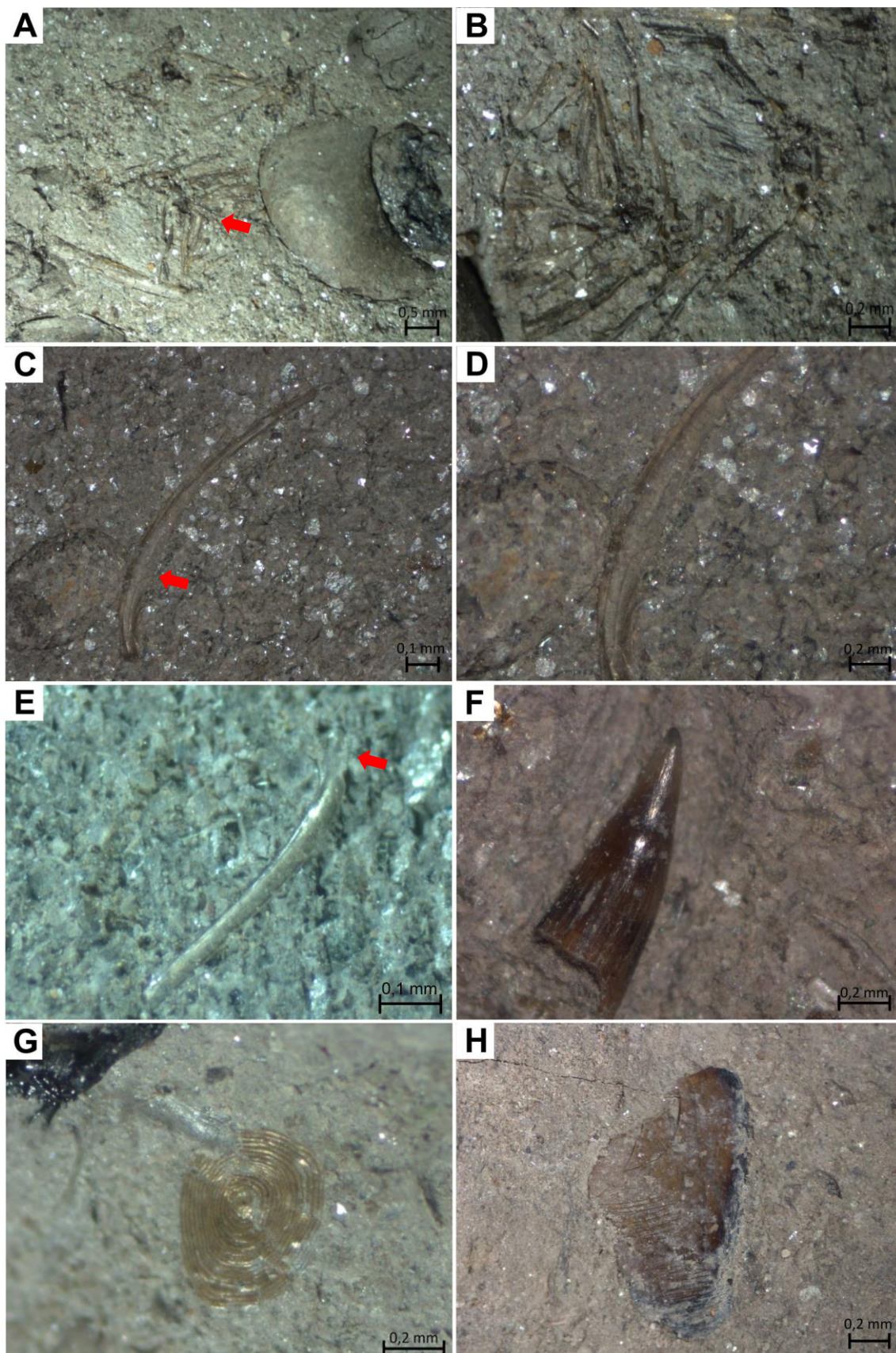


Figura 14. Fragmentos de osteíctes *incertae sedis*. **A.** Parte de uma sequência de vértebras e espinhos de peixe ósseo associados ao lado do molde de um gastrópode (seta vermelha; Amostra 18A). Notar outros espinhos isolados espalhados; **B.** Vértebras e espinhos de nadadeira caudal de peixe osteíctes (Amostra 18A); **C.** Provável espinho neural de vértebra com expansão para suporte das nadadeiras dorsais de osteíctes (seta vermelha;

Amostra CP4 41B); **D.** Destaque para o suporte das nadadeiras dorsais; **E.** Espinho de vértebra ou pequena costela de peixe ósseo (Amostra CP4 14). Na parte superior do material há uma expansão articular para a conexão com a vértebra (seta vermelha); **F.** Dente isolado (Amostra CP4 18B); **G.** Escama cicloide de peixe ósseo (Amostra CP4 38N); **H.** Escama lisa (Amostra CP4 38J).

6.3 Charcoals

Nas imagens obtidas dos fragmentos de *charcoals* no MEV foram identificados: elementos de vaso (Figura 15A); placa de perfuração, vaso e fibras de sustentação, além de possíveis espessamentos de parede (Figura 15B); placas de perfuração, ocorrendo na forma escalariforme ou mista (Figura 15C); pontoações simples e areoladas (Figura 15D). Esses elementos celulares do xilema secundário seguem um sistema axial, ou seja, essas estruturas encontram-se verticalizadas. Também foram encontrados tricomas de plantas vasculares apresentando espinhos ou ramos (Figura 15E; de acordo com Arai & Dias-Brito, 2018).

Os fragmentos variam de 0,08 a 0,80 mm, com uma média de 0,26 mm de comprimento. Segundo os tamanhos definidos por Scott (2001), os *charcoals* que são maiores que um milímetro, são considerados macroscópicos, quando variam de 180 micrômetros a um milímetro, são mesoscópicos e, quando são menores que 180 micrômetros, como microscópico. Assim, há fragmentos de carvão de queimada mesoscópicos, mas principalmente microscópicos na Camada Ibaté.

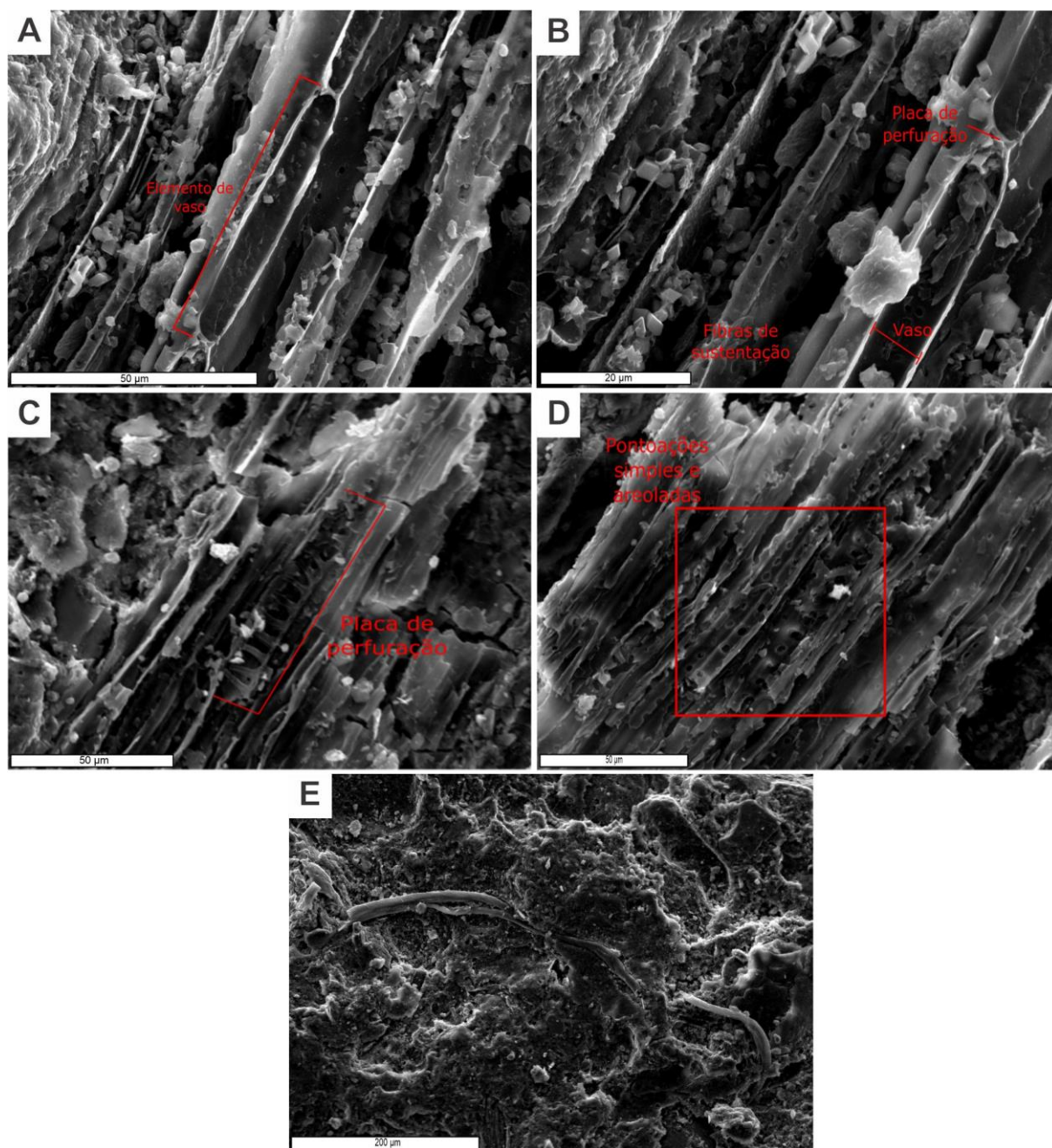


Figura 15. Imagens de charcoais (Amostra CP4 41K) e tricoma (Amostra CP4 41G). **A.** Destaque para o elemento de vaso, escala 50 µm; **B.** Destaque para a fibra de sustentação e placa de perfuração, escala 20 µm; **C.** Destaque para a placa de perfuração ocorrendo na forma escalariforme ou mista, escala 50 µm; **D.** Destaque para pontoações simples e areoladas, escala 50 µm; **E.** Tricoma ramificado, escala 200 µm (Amostra CP4 41G).

6.4 Descrição da matriz rochosa em lâminas petrográficas

As lâminas petrográficas foram observadas em um microscópio de luz transmitida para a identificação dos minerais da matriz e em luz refletida para verificar a presença de cristais de pirita dentre os minerais opacos. Foi difícil diferenciar os minerais constituintes da matriz, além de quartzo, devido a sua granulometria de silte e argila, mas em luz refletida pode-se observar pequenos cristais de pirita. No MEV foi possível diferenciar cristais de

apatita acicular, framboides de pirita ocorrendo de forma isolada na matriz e piritas disseminadas por toda a lâmina e, provavelmente, feldspato potássico. Ainda, por meio das proporções químicas geradas, foi possível identificar a presença de cristais cuja composição era sulfato de bário, ou seja, barita.

6.5 Tafonomia dos fósseis presentes na Camada Ibaté

A microestrutura observada através do MEV e a composição química determinada a partir do detector EDS, comprovou a piritização ocorrida no processo de fossilização nos ostracodes (Figura 16AE) por meio da ocorrência de ferro e enxofre dentro dos limites dos fósseis e do hábito apresentado pelos cristais. Permitiu a visualização de pirita framboidal intimamente ligada aos fósseis (Figura 17AF), além da presença de texturas remanescentes de biofilmes (Figura 18AC) e de arestas de grãos suavizados pelo recobrimento do polímero orgânico. No EDS obteve-se os elementos fósforo, ferro e cálcio (Figura 18DE) que apresentaram maior intensidade em pequenas porções nas quais se localizava o biofilme fossilizado. Na amostra CP4 38B foi observada o preenchimento do molde de ostracode com pirita de hábito octaédrico (Figura 16C), indicando que a talvez a fossilização não tenha se limitado a formação de pirita framboidal (Figura 17C). Além disso, no detector EDS resultou pequenos pontos com a presença de cálcio (Figura 16F).

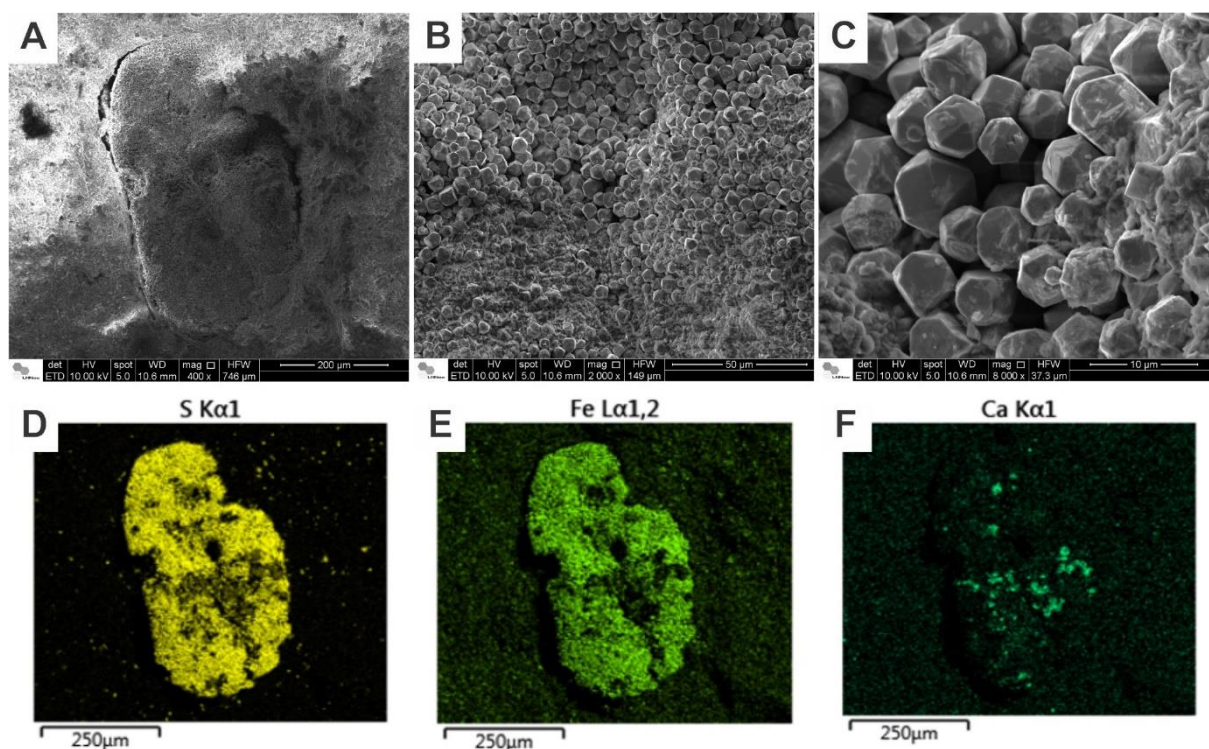


Figura 16. Fóssil de ostracode piritizado (Amostra CP4 38B). **A.** Com aumento de 400x; **B.** Com aumento de 2000x; **C.** Com aumento de 8000x; **D.** Presença do elemento enxofre; **E.** Presença do elemento ferro; **F.** Presença do elemento cálcio.

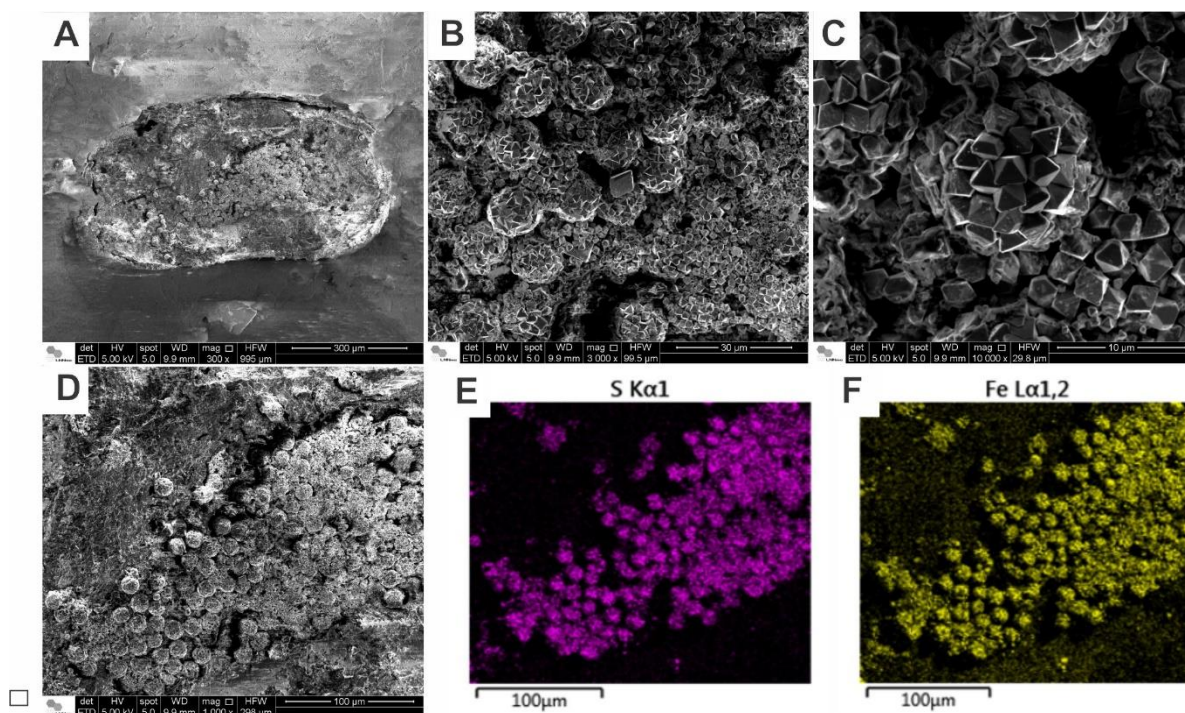


Figura 17. Molde de ostracode (Amostra CP4 38K). **A.** Pirita framboidal com aumento de 300x; **B.** Pirita framboidal com aumento de 1000x; **C.** Pirita framboidal com aumento de 3000x; **D.** Pirita framboidal com aumento de 10000x; **E.** Presença do elemento enxofre; **F.** Presença do elemento ferro.

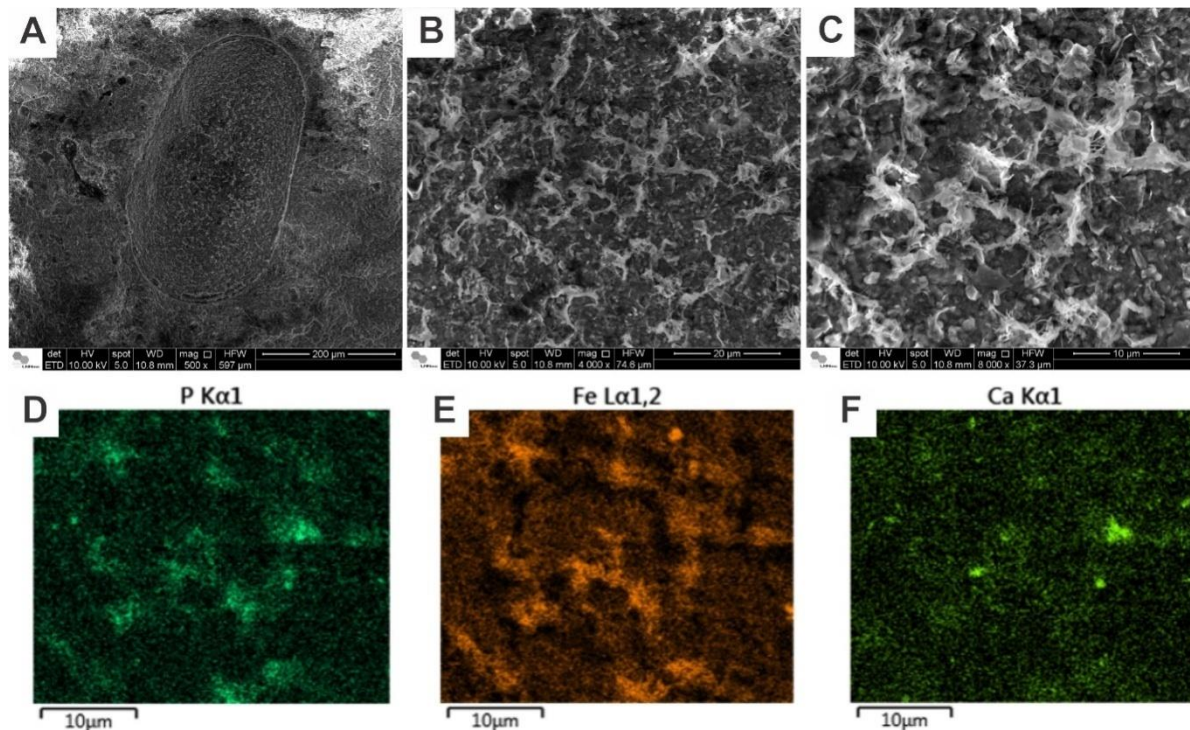


Figura 18. Molde de ostracode (Amostra CP4 38B); **A.** Biofilme com aumento de 500x; **B.** Biofilme com aumento de 4000x; **C.** Biofilme com aumento de 8000x; **D.** Presença do elemento ferro; **E.** Presença do elemento fósforo; **F.** Presença do elemento cálcio.

A partir do detector EDS obteve-se como composição química para a escama cicloide (Amostra CP4 38N; Figura 19A) os elementos cálcio e fósforo (Figura 19BC), apresentando maior intensidade dentro da estrutura fóssil, seguida por flúor (Figura 19D). Mesmo que esse último elemento não esteja restrito aos limites da escama, espalhando-se também pela matriz, apresenta uma maior intensidade dentro da estrutura do fóssil. Já para o ferro e sódio a distribuição é homogênea, não sendo possível diferenciar a escama da porção rochosa. A matriz possui maiores quantidades de potássio, manganês e oxigênio, mas o elemento de maior contraste é o silício.

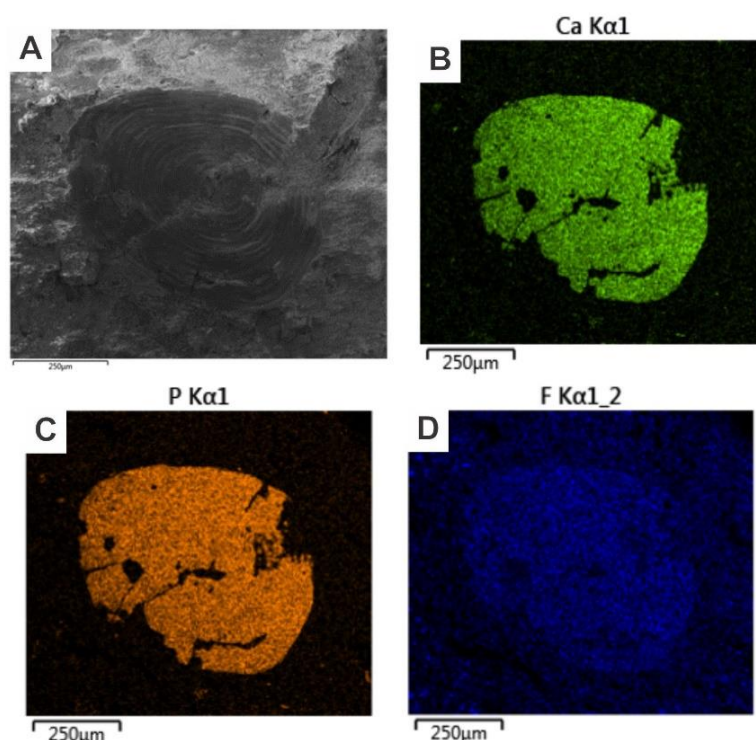


Figura 19. Distribuição dos elementos por MEV/EDS. **A.** Escama cicloide (Amostra CP4 38N); **B.** Com a distribuição do elemento cálcio (Aumento de 300x); **C.** Distribuição do elemento fósforo; **D.** Distribuição elemento do flúor.

Com o mapeamento por μ -XRF identificou-se a distribuição dos elementos químicos associados a cada fóssil presente nas amostras. A amostra CP4 18B contém um osso de osteíte que aparenta pertencer a estrutura óssea da nadadeira e uma porção da matriz (a área mapeada está representada pelo retângulo vermelho; Figura 20A), resultaram na distribuição de elementos como ferro (em verde) e enxofre (em azul), sendo que o enxofre ocorre mais próximo ao osso fóssil, e o cálcio (em vermelho), está restrito ao fragmento (Figura 20B). Também foi mapeado, dentro do limite do fóssil, estrôncio (Sr; Figura 20C), zinco (Zn;

Figura 20D) e níquel (Ni; Figura 20E), variando na cor vermelha, além de manganês, cuja distribuição assemelha-se ao do cálcio (Figura 20F), representado pela cor azul.

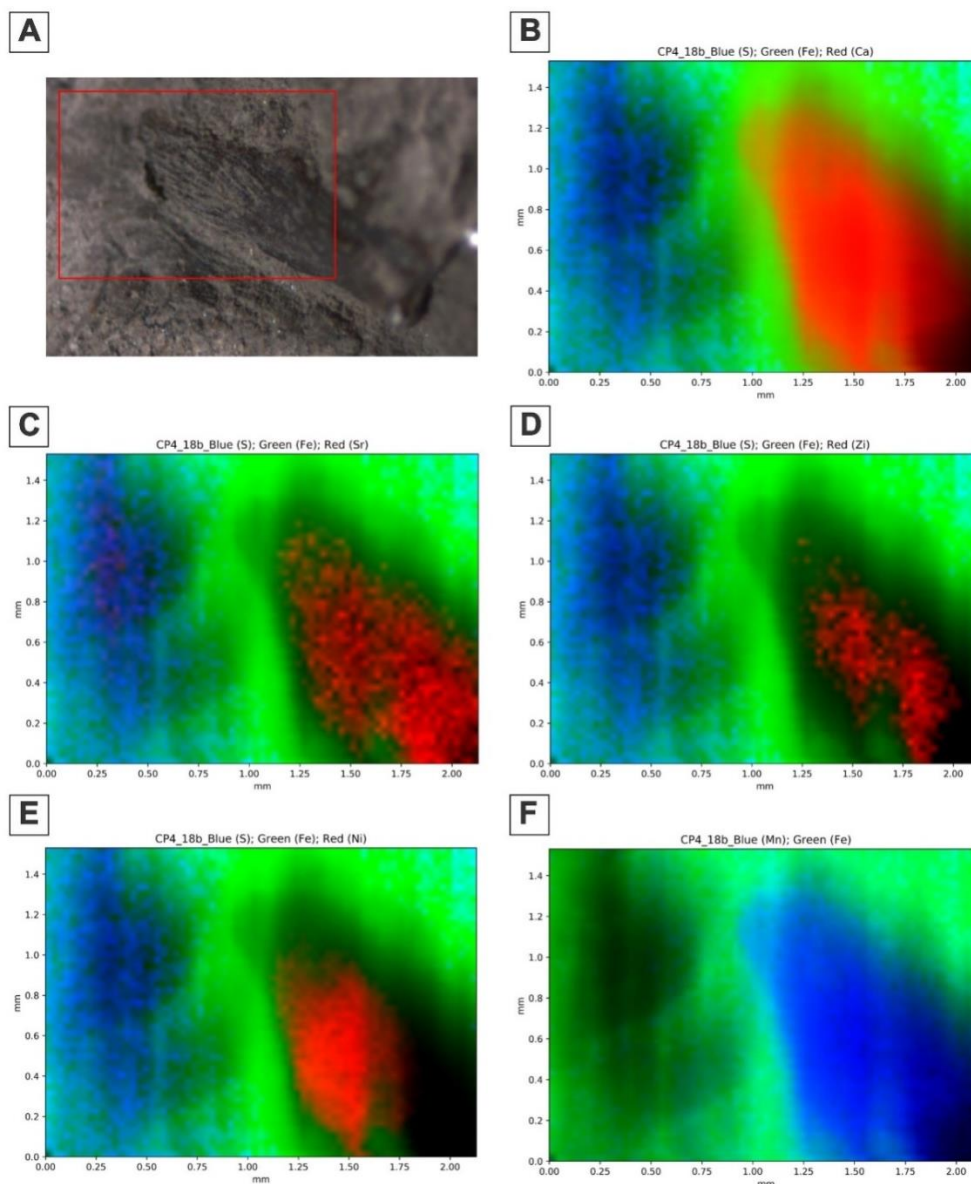


Figura 20. Mapas gerados pela μ -XRF mostrando a distribuição dos elementos na área selecionada (Amostra CP4 18B). **A.** Fragmento de nadadeira de um teleósteo com uma porção da matriz, destaque para a área dentro do retângulo vermelho, região em que foi realizado o mapeamento; **B.** Com enxofre em azul, ferro em verde e cálcio em vermelho; **C.** Com enxofre em azul, ferro em verde e estrôncio em vermelho; **D.** Com enxofre em azul, ferro em verde e zinco em vermelho; **E.** Com enxofre em azul, ferro em verde e níquel em vermelho; **F.** Com ferro em verde e manganês em azul.

Na amostra CP4 1 foi mapeado uma área que continha dois moldes de ostracodes piritizados com o entorno composto pela matriz rochosa (Figura 21A). Obteve-se, pelos mapas gerados, a distribuição do enxofre (representado pela cor vermelha; Figura 21B) e do ferro (em azul; Figura 21C), sendo que esse elemento apresentou um maior espalhamento que o primeiro. A região de sobreposição desses elementos é representada em lilás (resultado da

sobreposição das cores azul do Fe e vermelho do S), podendo evidenciar a ocorrência de sulfeto de ferro (pirita; Figura 21D).

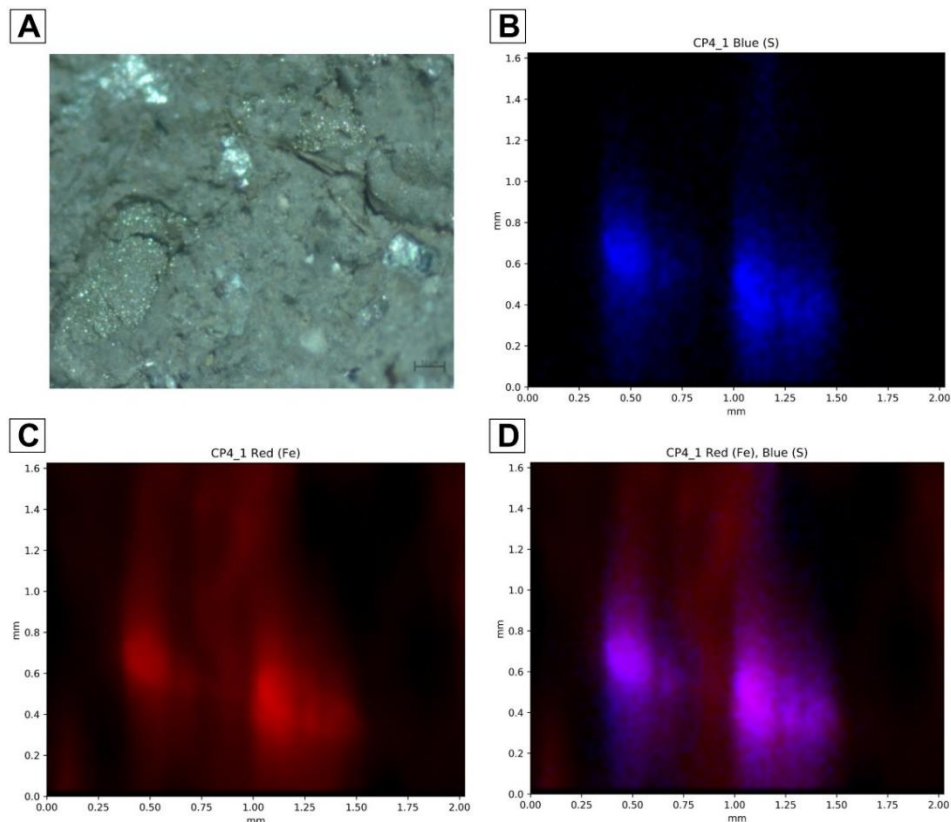


Figura 21. Mapas gerados pela μ -XRF mostrando a distribuição de elementos na área selecionada (Amostra CP4 1). **A.** Moldes de ostracodes piritizados em meio a matriz rochosa, escala 50 μ m. **B.** Ostracodes piritizados com elemento ferro em vermelho; **C.** Com elemento enxofre em azul; **D.** Com elemento enxofre em azul e ferro em vermelho, regiões de intersecção em lilás.

Na amostra CP4 19 foi mapeado uma área que continha uma concha de conchostráceo, que não pertence a Camada Ibaté, mas a porção superior do intervalo FNSF 2 - que possui menores concentrações de matéria orgânica e uma coloração mais clara. Pelos mapas obtidos obteve-se a distribuição do cálcio (Figura 22B), fósforo (Figura 22C) e crômio (Figura 22E), restritos a região de ocorrência da concha. O enxofre (Figura 22D) e o estrôncio (Figura 22F) se concentraram predominantemente na porção correspondente ao fóssil, porém também há pontos espalhados pela matriz, sendo a presença de estrôncio maior que a de enxofre. O ferro (Figura 22D) ocorre de forma uniforme por toda a área mapeada.

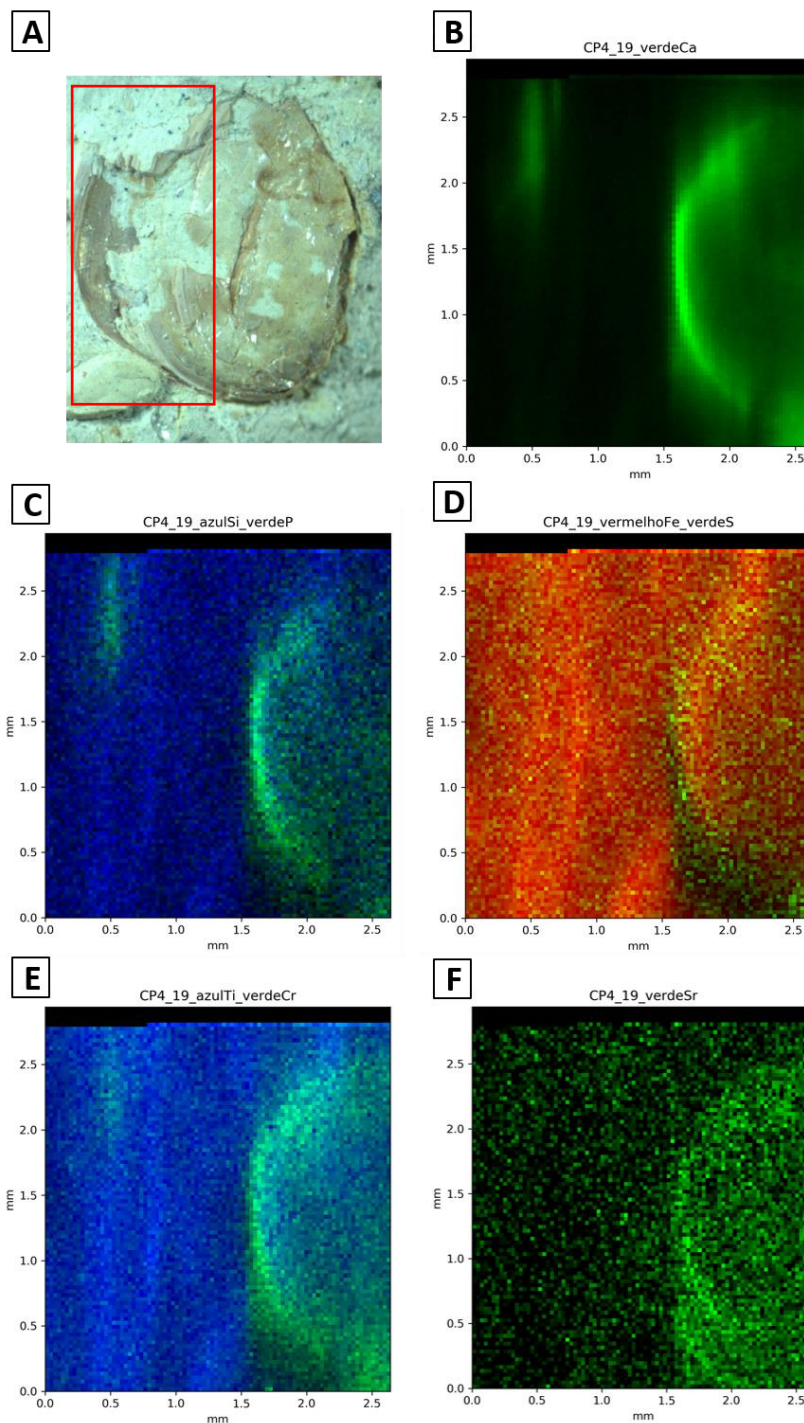


Figura 22. Mapas gerados pela μ -XRF mostrando a distribuição dos elementos na área selecionada (Amostra CP4 19); corresponde ao intervalo FNSF 2, porção superior. A. Concha de conchostráceo, destaque para a região dentro do retângulo vermelho, que compreende a região mapeada; B. Com cálcio em verde; C. Com fósforo em verde e sílica em azul; D. Com enxofre em verde e ferro em vermelho; E. Com cromo em verde e titânio em azul; F. Com estrôncio em verde.

Na amostra CP4 41A foi mapeado uma área que continha um molde de gastrópode com a região do ápice apresentando uma coloração escura, alvo da investigação (destacada por um retângulo vermelho; Figura 23A), além de uma porção ao entorno de matriz. Pelos

mapas obtidos obteve-se a distribuição do cálcio (Figura 23B), ocorrendo de modo concentrado na região de ápice, em uma pequena porção no interior do molde e de modo pontual na área correspondente a matriz, enquanto que o enxofre e o potássio ocorrem de forma mais distribuída por toda a região mapeada. Para o zinco (Figura 23C) houve uma pequena concentração na região de ápice quando comparado aos outros elementos; já o ferro apresenta uma ocorrência uniforme por toda a área. Para o cobre (Figura 23D), houve uma grande intensidade na região que compreende o ápice da concha, de modo semelhante a distribuição do níquel (Figura 23E), esse último apresentou um espalhamento um pouco maior nas demais porções mapeadas quando comparado ao cobre. Para o vanádio (Figura 23F), percebeu-se uma concentração mais significativa na região de ápice.

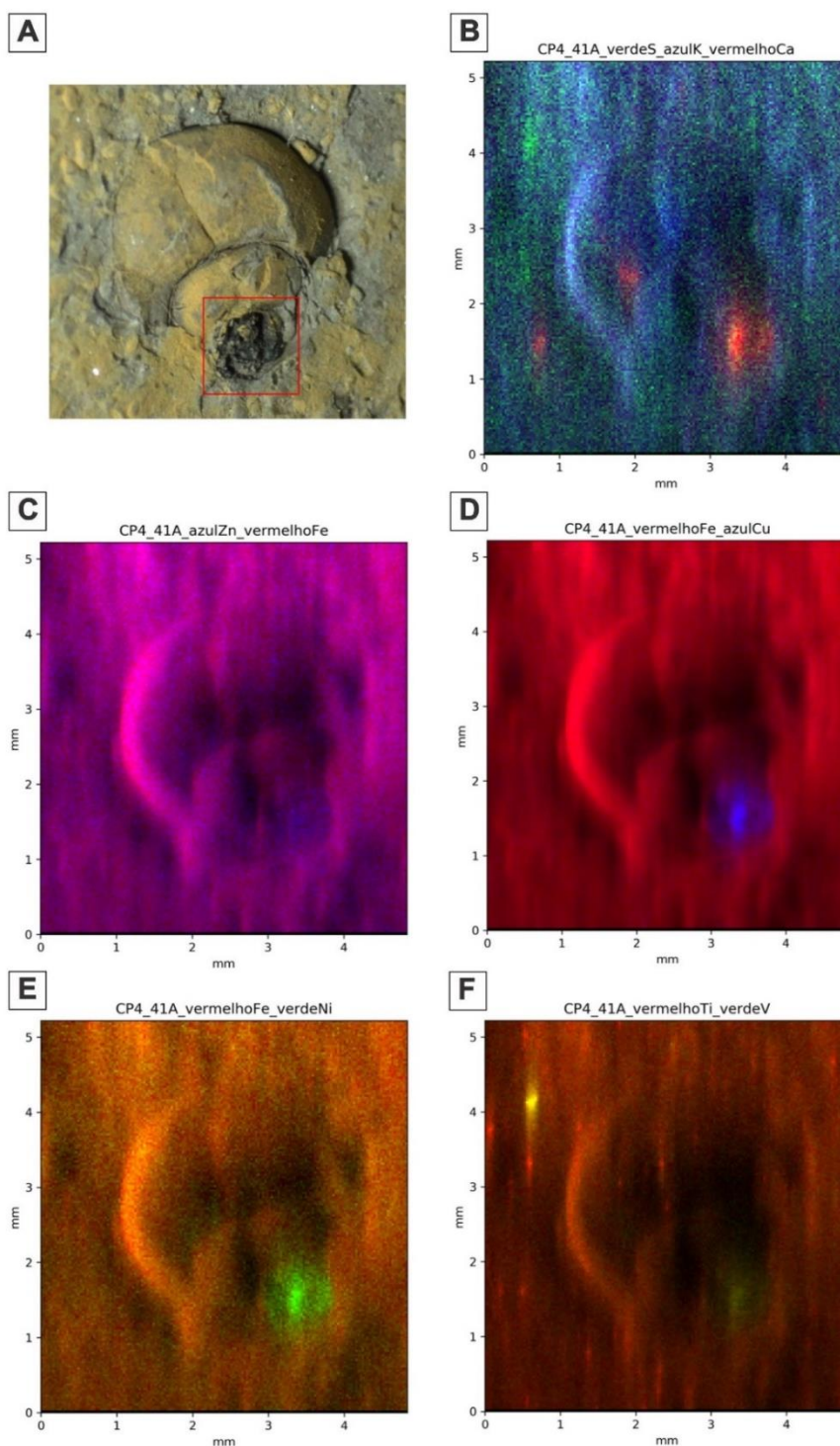


Figura 23. Mapas gerados pela μ -XRF mostrando a distribuição dos elementos na área selecionada (Amostra CP4 41A). **A.** Molde de gastrópode mapeado, destaque para a região dentro do retângulo vermelho, material apresenta uma coloração mais escura que a área correspondente a matriz; **B.** Com cálcio em vermelho, enxofre em verde e potássio em azul; **C.** Com ferro em vermelho e cobre em azul; **D.** Com zinco em azul e ferro em vermelho; **E.** Níquel em verde; **F.** Vanádio em verde e titânio em vermelho.

Para a investigação da composição da película escura que recobre os moldes de ostracodes e ocorrem principalmente na região de ápice dos moldes de gastrópodes, foram realizados pontos de EDS. A amostra CP4 41B é um exemplo de molde de ostracode com a

película escura, e essa está intimamente relacionada ao fóssil (Figura 24). O ponto que corresponde ao EDS foi destacado em vermelho e apresentou picos bem definidos para os elementos carbono, fósforo, cálcio e oxigênio, e menores para o enxofre, alumínio, magnésio e ferro.

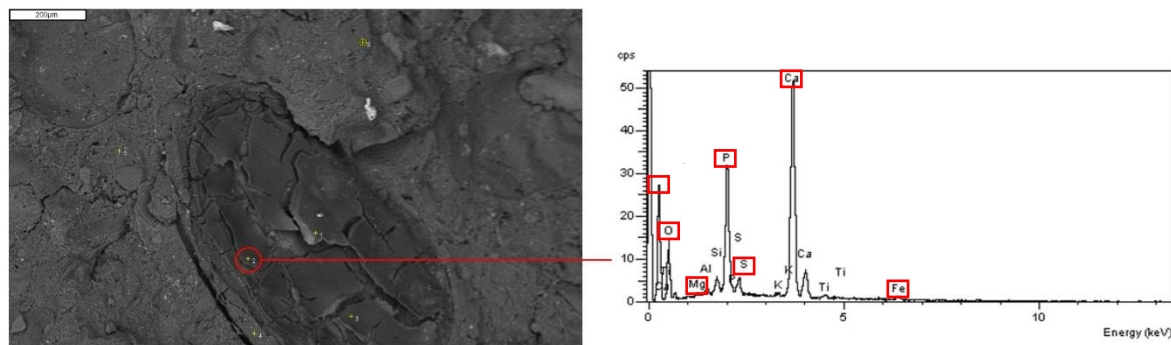


Figura 24. Imagem obtida pelo MEV incluindo o EDS do ponto destacado em vermelho, que compreende a película de coloração escura que recobre o molde de ostracode (Amostra CP4 41B). Os picos mais significativos são de: carbono, oxigênio, fósforo e cálcio.

A amostra CP4 42C apresenta um molde de gastrópode cujo material de interesse não está limitado apenas a região de ápice da concha original, mas ocorre de forma disseminada pelo fóssil e, ainda há a presença de pirita disseminada ou como framboides (Figura 25). Para o primeiro EDS, que abordou uma das regiões que compreende o material escuro, os elementos mais relevantes são carbono, fósforo e cálcio, porém ainda aparecem oxigênio, enxofre, ferro, magnésio e vanádio. No segundo, que corresponde a uma região com ocorrência de pirita framboidal, o EDS resultante confirmou a composição de enxofre e ferro (sulfeto de ferro), além de cálcio. A Figura 26 mostra uma vista de detalhe do mesmo molde de gastrópode, apresentando os mesmos elementos mais significativos, incluindo a presença de cobre, na porção escura.

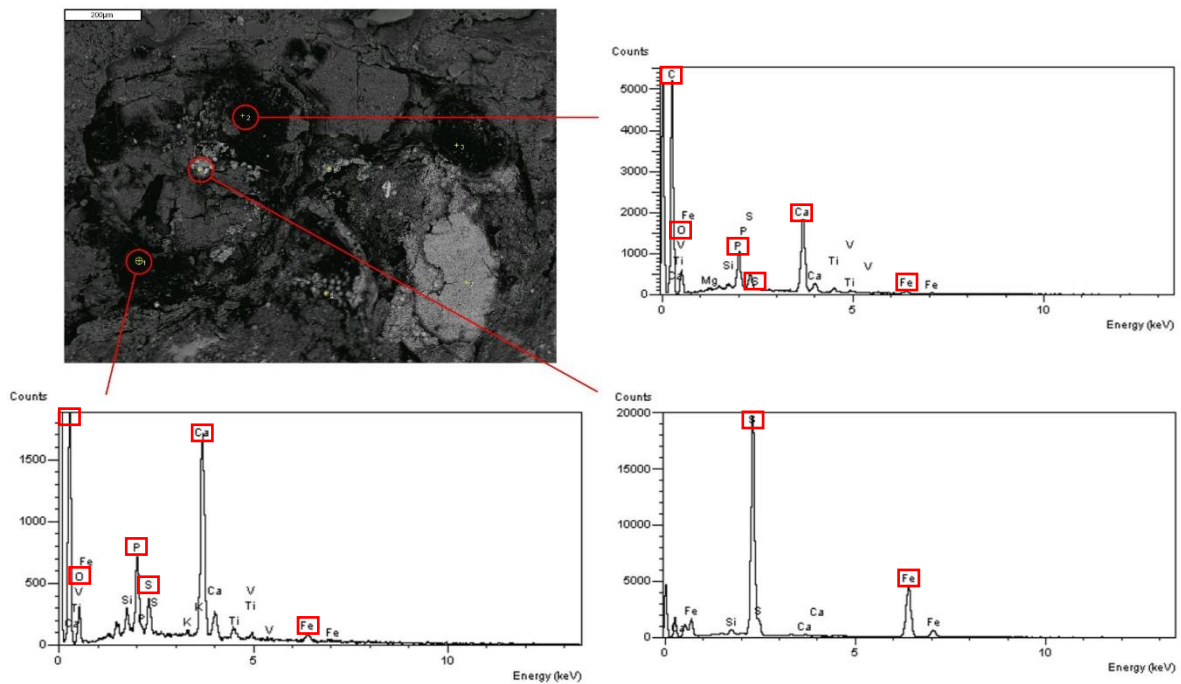


Figura 25. Imagem obtida pelo MEV incluindo os EDS dos pontos destacados em vermelho, sendo que dois compreendem a película de coloração escura que recobre o molde de gastrópode e outro a área piritizada (Amostra CP4 42C). Os picos mais significativos para o primeiro e o último são carbono, fósforo e cálcio; e para o segundo, enxofre e ferro.

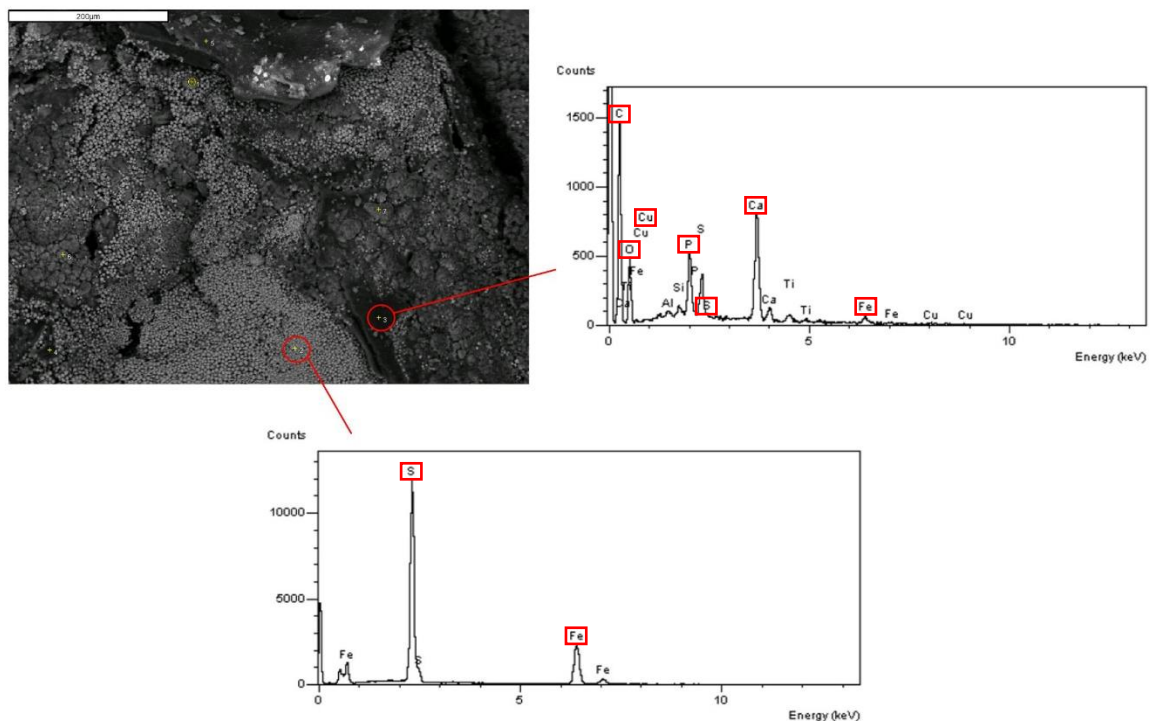


Figura 26. Imagem obtida pelo MEV incluindo os EDS dos pontos destacados em vermelho, um correspondendo a película de coloração escura que recobre o molde de gastrópode e o outro a uma área piritizada (Amostra CP4 42C). Os picos mais significativos para o primeiro são para o carbono, oxigênio, fósforo e cálcio, com destaque para o cobre; e para o último, enxofre e ferro.

7. DISCUSSÃO

Nesse capítulo será discutido os resultados apresentados anteriormente. Com relação aos gastrópodes buscou-se entender os motivos da variação entre os parâmetros de interesse e qual seria o impacto desses sobre a classificação desses moluscos. Para os fragmentos de osteíctes foi possível propor a separação em três táxons diferentes – apenas foi possível identificar a ordem para um deles – com base no material encontrado entre as amostras. Os *charcoals* preservaram algumas estruturas vegetais diagnósticas para a sua classificação em nível taxonômico. E a partir das composições obtidas por meio do EDS e μ -XRF foram investigadas quais seriam as condições ambientais necessárias nesse paleolago para conservar essa assembleia fossilífera dessa forma.

7.1 Gastrópodes *incertae sedis*

A variação do ângulo apical apresentado pelos moldes pode ser justificada pelas posições que as conchas se encontram em relação ao acamamento. É possível observar diferentes inclinações, de modo que, o molde está variando o ângulo de incidência na rocha – muitos espécimes não se encontram com o maior eixo perfeitamente paralelo ao leito, mas sim de forma oblíqua, e essa relação faz com que ocorra uma diminuição na altura e aumento do ângulo apical. Sendo coerente com a interpretação dos dados que mostravam que os espécimes que possuíam as maiores alturas tinham os menores ângulos, enquanto os de menores alturas estavam relacionados aos maiores ângulos. Assim, essas medidas não são diagnósticas para a classificação taxonômica desse fóssil de gastrópode e considerando o cluster de *K-means*, não foi possível observar nenhuma divisão evidente – portanto, a hipótese de se tratar de uma única população de gastrópodes não pode ser descartada.

Com relação as medidas obtidas por Mezzalira (1974) a variação pode estar relacionada com o número de espécimes analisados, no estudo foram considerados apenas quatro indivíduos, enquanto nesse trabalho considerou-se o maior número possível de moldes presentes nas amostras a partir de uma análise estatística. Dessa forma, apesar de terem medidas que se enquadram dentro do intervalo de ângulo apical definido por Mezzalira (1974), a grande maioria dos valores obtidos encontram-se bem acima da variação de 70 a 75°.

Esses exemplares foram classificados como *Viviparus souzai* Mezzalira, 1974 por Mezzalira (1974) e Ghilardi *et al.* (2011). Considerando as características apresentadas no item 6.1, as descrições assemelham-se por considerar que se tratam de conchas pequenas, paucispiral - com poucas voltas -, atingindo o número de 4 voltas; dextrais; com linhas de

crescimento. Diferenciam-se um pouco com relação ao formato das conchas, Mezzalira (1974) as descreveram como globosa, nesse estudo, elas são apresentadas como conospirais podendo variar de cônicas a ovóide; o autor considerou a última volta como não muito larga, sendo que a partir dos espécimes observados ficou nítida a diferença de tamanho da última volta para as demais (com até certa assimetria). Mezzalira (1974) a considerou como evoluta (quando as voltas não recobrem as anteriores), porém nesse trabalho foram descritas como involutos (com a última volta recobrindo as anteriores); além dos valores divergentes obtidos para o ângulo apical, porém é preciso lembrar da dificuldade em realizar as medidas e como variavam o ângulo de incidência ao acamamento.

Ainda é necessária uma investigação mais aprofundada com relação ao gênero e/ou espécie anteriormente definida, pois essa nova análise pode indicar que esses moldes podem pertencer a uma classificação taxonômica diferente ou que realmente trata-se de uma ocorrência de cf. *Viviparus*.

7.2 Fragmentos de osteíctes

Com a análise dos fragmentos encontrados nas amostras estudadas é possível considerar que há pelo menos três grupos distintos de osteíctes nesse material. O mais abundante parece ser o Siluriformes, identificado principalmente devido à presença de espinhos de nadadeiras peitorais, que são bem característicos do grupo. Esses podem possuir várias formas e geralmente apresentam dentes (serrilhas) que dão a esses espinhos um aspecto de serra em diversos casos – podem ocorrer em apenas um ou nos dois lados do osso. Além disso, a base do espinho tem um formato complexo, todo recortado, que serve para auxiliar na mobilidade do espinho da nadadeira. Apesar dos ossos do crânio dos Siluriformes também serem característicos pelo formato de placas que apresentam uma ornamentação com ranhuras (vermiforme), eles não foram identificados no material analisado.

Porém os Siluriformes não possuem escamas e foram identificados dois tipos diferentes de escamas no material e que podem estar relacionadas a outros *taxa*, um tipo de escama cicloide e uma escama de aspecto mais liso. As escamas cicloides são diferentes por apresentarem anéis de crescimento bem marcados. Essas escamas podem aparecer juntamente com escamas ctenóides em um mesmo peixe, mas no caso das amostras, não foi observada nenhuma escama desse tipo. As escamas cicloides não são muito diagnósticas, pois ocorrem na maioria dos peixes teleósteos. Já a escama lisa certamente pertence a outro grupo de peixe diferente dos Siluriformes e dos peixes com escamas cicloides.

Em algumas das amostras é possível ver espinhos isolados, alguns apresentam uma expansão na parte mais distal e parecem ser espinhos que se conectam as nadadeiras dorsais. Não foi possível avançar na identificação desse material, mas pode ser possível descartar a possibilidade de se tratar de siluriformes. Ainda foram reconhecidas pequenas sequências de vértebras e espinhos articulados, entretanto não há clareza a respeito da morfologia dessas vértebras, impedindo de associar esse material a um grupo específico. A única certeza, até o momento, é que se tratam de fragmentos de peixes ósseos, ou seja, osteíctes.

Os Siluriformes constituem um dos grupos mais diversos de vertebrados, considerando tanto a morfologia quanto a taxonomia, incluindo 38 famílias com cerca de 3.370 espécies descritas (Eschmeyer & Fong, 2011), distribuídos nos sistemas fluviais de todos os continentes. Os registros mais antigos foram encontrados na África, como uma espécie pouco presente na era Coniaciana-Santoniana, se diversificando no Campaniano-Maastrichtiano da América do Sul. A maioria dos espécimes de Siluriformes do Cretáceo são representados por espinhos peitorais e de barbatana dorsal, sendo esse último menos relevante para promover a sua localização filogenética (Eschmeyer & Fong, 2011).

Alves (2012) aponta que espinhos peitorais e barbatanas dorsais para esse grupo têm sido fonte de informação para vários estudos de nível comportamental e taxonômico. E defende que por serem estruturas ossificadas, resistentes e densas, auxiliam na manutenção de sua forma original – essas estão entre os restos mais abundantes de peixes fósseis no Mesozóico. Desse modo, representam uma ferramenta importante na compreensão da sua diversificação, já que as barbatanas dorsais podem estar presentes em outros grupos de actinopterygians, pois não são consideradas autopomórficas para os siluriformes.

Análises comparativas realizadas por Alves (2012) revelam que essas estruturas para o Grupo Bauru resultam em uma morfologia generalizada, típicas de mais de uma espécie de siluriformes: *Diplomystidae*, *Bachmanidae*, *Hypsoridae*, *Bagridae* e *Pimelodidae*. Portanto, essas características não permitem, por enquanto, uma avaliação definitiva de sua posição filogenética e localização taxonômica além do nível de ordem e, muito menos, a classificação dos fragmentos aqui descritos.

7.3 Fragmentos de charcoals

As gimnospermas e angiospermas são os grupos vegetais que produzem xilema secundário, ou seja, madeira, sendo que a das gimnospermas são relativamente mais simples por serem constituídas apenas por traqueídes e raios (Costa *et al.*; 2006). As fibras são raras

entre as gimnospermas, assim como o parênquima axial. As madeiras das angiospermas são caracterizadas pela presença de vasos e apresentam diferentes tipos celulares como elementos de vaso, traqueídes, fibras de vários tipos, parênquima axial em diferentes arranjos e diversidade (Tabela 4).

Tabela 4. Diferenças na estrutura do xilema secundário das gimnospermas e dicotiledôneas. Extraído de Costa *et al.* (2006).

Gimnospermas	Dicotiledôneas
Traqueídes presentes	Traqueídes algumas vezes presentes
Elementos de vaso ausentes	Elementos de vaso presentes
Fibras ausentes	Fibras presentes
Arranjo linear das traqueídes	Arranjos variados dos elementos de vaso, parênquima axial, fibras
Raios predominantemente unisserados	Raios de várias larguras
Parênquima axial ausente	Parênquima axial presente em arranjos diversificados

Em Arai & Dias-Brito (2018) foram identificados 64 táxons de pólen de angiospermas, 32 de esporos de pteridófitas e 31 de pólen de gimnospermas; além de sete novos táxons propostos, representando uma maior diversidade de angiospermas, mas com maiores abundâncias dos outros grupos. Ocorreram nesse período, segundo Brown *et al.* (2012), grandes mudanças na vegetação, de modo que as angiospermas expandiram o seu domínio prosperando nos ambientes perturbados por essas queimadas, promovendo o aumento da sua diversificação.

Arai & Dias-Brito (2018) discutem que a presença de charcoais, astrosclereídes e tricomas nas rochas pertencentes a Camada Ibaté, indicam que essa região foi afetada por incêndios florestais. Uma parte desses incêndios, segundo os autores, podem estar associadas a uma importante atividade vulcânica que teria ocorrido a cerca de 100 quilômetros da região estudada.

Condições anóxicas, segundo Brown *et al.* (2012), foram criadas a partir da ocorrência desses incêndios, de modo que durante o Cretáceo, essas queimadas podem ter contribuído para o escoamento superficial e intemperismo, intensificando a mobilização de quantidades significativas de fósforo para os corpos d'água (principalmente oceanos). Arai & Dias-Brito (2018) defendem a ocorrência de florescimentos episódicos, induzidos provavelmente por

processos de eutrofização, nesse antigo lago devido as quantidades significativas de microalgas observadas nas amostras, gerando condições episódicas de baixo oxigênio ou anóxicas na região mais profunda. Como para ocorrer a eutrofização é necessário que o ambiente possua altos níveis de nutrientes como o fosfato, pode-se pensar na possibilidade que essas queimadas possam ter auxiliado esse processo esporádico.

Outro fator que poderia contribuir para a ocorrência desses episódios é a composição dos sedimentos que foram depositados nesse ambiente, ou seja, a sua proveniência estaria relacionada a rochas que fornecem nutrientes que podem colaborar com esse processo (Figura 26). Enquanto ocorria a deposição dos arenitos e folhelhos da Formação São Carlos, durante o Conociano-Santoniano, aconteciam intrusões alcalinas em diferentes regiões devido à passagem da Placa Sul-Americana sobre um hot-spot - Pluma Mantélica de Trindade (Gibson *et al.*, 1995). Esse evento provocou soerguimentos na porção sul de Minas Gerais, resultando na exposição de rochas do embasamento pré-cambriano, algumas unidades Paleozoicas da Bacia do Paraná, os basaltos da Formação Serra Geral e rochas plutônicas e vulcânicas do mesozoico, sendo passíveis de erosão. O material originado nesse processo erosivo foi transportado para a Bacia Bauru por meio de fluxos fluviais que a adentravam de norte e nordeste (Neves, 2016).

No perfil SW-NE (Figura 27) é possível observar rochas de Unidades Paleozoicas da Bacia do Paraná, depositadas antes do derrame de basaltos da Formação Serra Geral, além de rochas do embasamento pré-cambriano associadas a intrusões alcalinas e depósitos lacustres. Portanto, essa porção da bacia recebeu importante influência dos sedimentos providos do Soerguimento Alto Paranaíba - diabásios e derrames basálticos do Eocretáceo e intenso vulcanismo alcalino do Neocretáceo. Já o perfil NW-SE (Figura 27) pode ser associado a fase pós rifte, 130-110 Ma, relacionado ao soerguimento de algumas regiões que correspondem a borda ocidental do sistema de grábens relacionados as Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo, onde atualmente compreende a Serra da Mantiqueira, que em seguida sofreu um intenso aplainamento, permitindo a formação da superfície Japi - resultando em granitos, granitóides e gnaisses (Almeida & Carneiro, 1998), sendo que os detritos originados a partir da erosão dessas rochas foram transportados para a borda da plataforma e para o interior do país, ou seja, Bacia Bauru.

Assim, como consequência da tectônica, os sedimentos depositados na borda leste, segundo Neves (2016), possuem proveniência de duas fontes distintas, com sedimentos oriundos de rochas intermediárias e félsicas com retrabalhamento. Neves (2016) afirma que

esses sedimentos são providos de uma fonte mais distal, como o Soerguimento Alto Paraíba, e da erosão da Serra do Mar. Como pode haver uma contribuição de sedimentos provenientes da erosão de rochas basálticas e essas possuem como principais constituintes minerais aluminossilicatos do grupo dos piroxênios e plagioclásios. Esses minerais são pouco resistentes ao intemperismo químico e importantes fontes de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e quantidades variáveis de nutrientes que podem ter sido a fonte externa que possibilitou a oferta de fósforo e nutrientes para esse antigo lago – favorecendo a ocorrência dos processos de eutrofização.

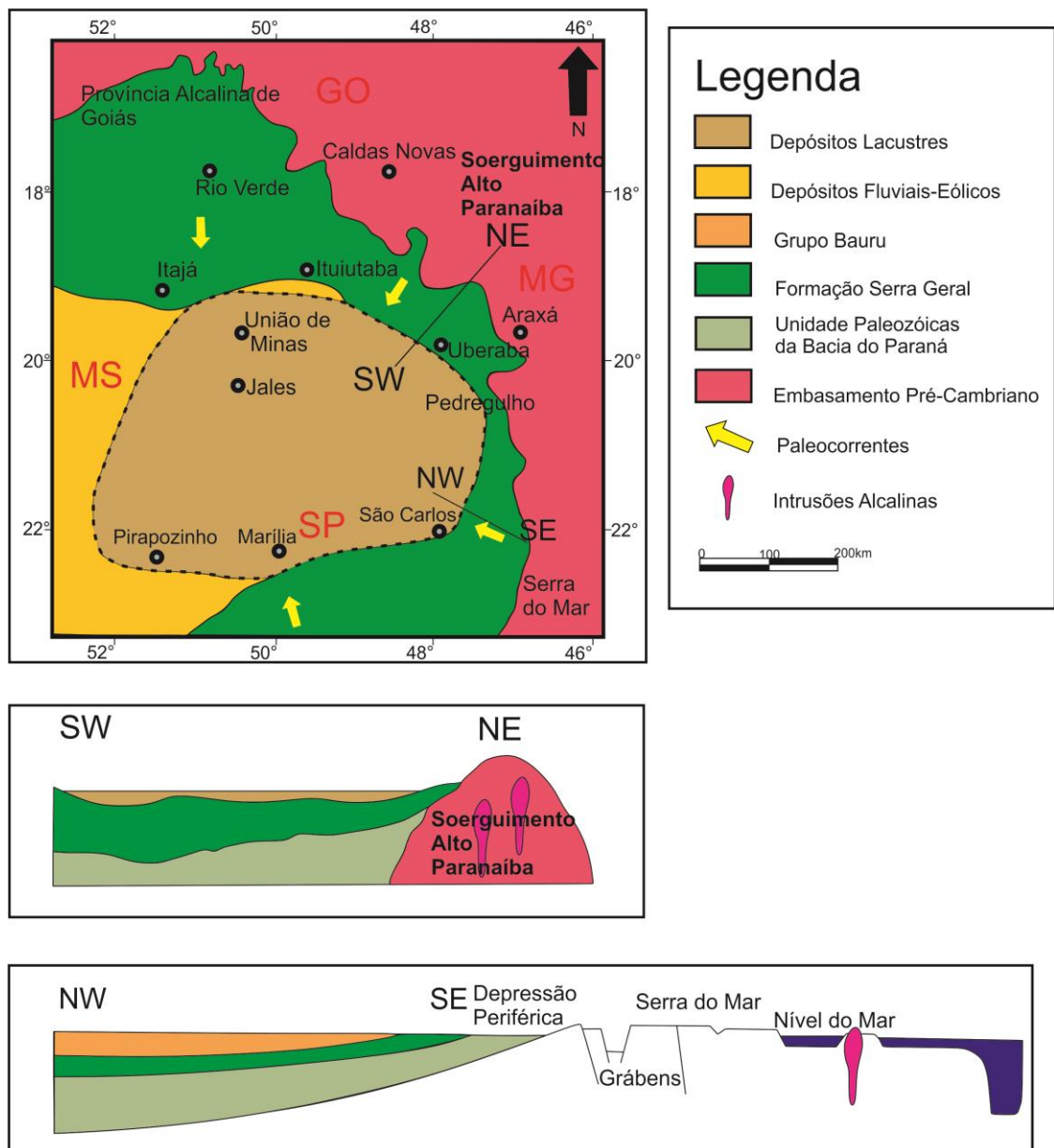


Figura 27. Paleogeografia das bordas nordeste e leste da Bacia Bauru e perfis geológicos esquemáticos mostrando as áreas fontes durante o Cretáceo Superior (Adaptado Almeida, 1998; Batezelli, 2010; Neves, 2016).

7.4 Tafonomia

Os conchostráceos apresentam duas valvas constituídas de quitina ($(C_8H_{13}O_5N)_n$), podendo ser impregnadas ou não por carbonato de cálcio. De acordo com os mapas gerados, as conchas são enriquecidas em cálcio, fósforo com significativa ocorrência de estrôncio e crômio. O enxofre encontra-se menos concentrado e o ferro é uniforme em toda a área mapeada. Trabalhos anteriores (Bittencourt et al., 2018; Astop et al., 2015; Tasch, 1987; Stigall et al., 2008) apontam que a carapaça de um crustáceo é constituída principalmente por quitina e é predominantemente mineralizado por fosfato de cálcio. Essa composição sugere que, pelo menos parcialmente, componentes minerais originais das conchas de conchostráceos foram preservados e que os outros elementos presentes podem ter sido acrescentados durante o processo de diagênese.

Ademolu *et al.* (2016) apresentam que o teor de cálcio nas conchas de gastrópodes era mais alto nas espiras apicais e acabava diminuindo com a idade das espiras. Ainda relatam que como a ocorrência desse elemento, o teor de ferro, fósforo e outros metais também podem ser maiores nas espiras superiores – que apresentam uma idade mais antiga – podendo indicar que, em geral, o grau de mineralização é mais alto nessa porção. O ápice é a espiral mais antiga da concha e é formada durante a fase embrionária, assim, a medida que o molusco envelhece sua concha torna-se gradualmente mais espessa e mais forte, colaborando para que o ápice contenha mais minerais que as espiras mais jovens – acúmulo ocorre durante um longo período de tempo. Dessa forma, a fragilidade da região da abertura da concha é relacionável a sua pequena mineralização. Ademolu *et al.* (2016) então indicam que o grau de mineralização pode depender diretamente da idade de desenvolvimento da concha.

O cálcio foi o elemento de ocorrência mais abundante, encontrado tanto pelo detector EDS associado ao Microscópio Eletrônico de Varredura, quanto no mapeamento elementar realizado pela Micro-fluorescência de Raios X, enquanto elementos como zinco, cobre, níquel e vanádio eram menos abundantes. A maior concentração de cálcio é coerente, pois a concha dos gastrópodes são constituídas principalmente por carbonato de cálcio, que contribui para a resistência mecânica da concha. Mas, segundo Botkin & Edwar (1988), na composição dessas conchas ainda é possível conter elementos metálicos como ferro, zinco, cobre, entre outros. Portanto, os elementos resultantes no mapeamento são condizentes com a composição da concha original do molusco e a preservação, provavelmente devido a concentração natural desses elementos na porção de ápice da concha.

Frambóides de pirita também são encontrados em contextos em que não há evidências de ação biológica, como em rochas ígneas ou sedimentares, porém existem indícios da importância da matéria orgânica e de microrganismos para a formação dessa estrutura - como frambóides de pirita que são encontrados replicando tecidos fósseis (Óses *et al.*, 2017). Assim, os frambóides de pirita podem ocorrer em rochas sedimentares ricas em matéria orgânica (Zawlowicz, 1993), de modo disseminado na matriz rochosa. Essas estruturas são definidas como texturas minerais sub-esféricas a esféricas, geralmente com 5-20 µm de diâmetro (Zawlowicz, 1993), constituindo agregados de nano e/ou microcristais de pirita, geralmente com tamanho e forma regulares em um único framboide (Donald & Canfield, 1991).

Nas amostras de fósseis estudadas, além de apresentarem piritas framboideais ainda foram encontradas associações com esteiras microbianas fossilizadas, como já foi relatado em Liu (2016). Ainda há estudos (Maclean *et al.*, 2008) que fornecem informações que sustentam o controle estrutural de biofilmes na formação de framboides, onde os autores encontraram biofilmes formando moldes ocupados por cristais de pirita.

Nos moldes estudados, nos que foram observados a ocorrência de frambóides, foram encontrados associação com remanescentes bacterianos como a substância polimérica extracelular (EPS) fossilizada. Os biofilmes microbianos são compostos por finas camadas de células microbianas que são organizadas espacialmente em uma matriz de exopolissacarídeos (EPS), sendo responsável por anexar o biofilme no substrato, armazenando nutrientes e atuando como uma barreira natural para condições ambientais desfavoráveis (Westall & Rincen 1994; Westall *et al.* 2000; Madigan *et al.* 2000). Um dos indícios morfológicos da preservação dessa substância foi observado nas amostras estudadas, que é a suavização de arestas dos cristais dos minerais que constituem a matriz. Esta textura característica pode permanecer na microestrutura da rocha, tendo por vezes grãos com a superfície recoberta por esse material como um manto.

A abundância de cobre e zinco – considerados como metais pesados que podem ser comumente quelatados por matéria orgânica (Óses *et al.*, 2017) - em concentrações mais altas nos fósseis que na matriz (ocorre tanto nos moldes de gastrópodes quanto no osso de nadadeira) também podem sugerir a presença de atividade microbiana. Óses *et al.*, 2017 associam que a incorporação desses metais em pirita pode ser favorecida pela alta precipitação desse mineral – os framboides acabam contribuindo para a mobilização de metais pesados, como os encontrados nos fósseis estudados, em comparação com as concentrações

na rocha hospedeira (Óses *et al.*, 2017) –, especialmente em ambientes anóxicos-sulfídicos, portanto, coerente com o ambiente que originou a Camada Ibaté.

Uma possível explicação para a presença de sulfato de bário dentre os minerais presentes nessas amostras é que microrganismos que metabolizam enxofre também são capazes de mediar a saturação de bário (Senko *et al.*, 2004). Bonny & Jones (2008), apresentam que ambientes com bactérias oxidantes de enxofre e EPS associado formam substratos adequados para a precipitação de barita, e que este processo pode ser favorecido sob condições anóxicas.

Com o mapeamento por μ -XRF foi possível observar que a ocorrência do enxofre e do ferro não estava limitada apenas aos fósseis, mas se expandiam para a matriz rochosa, podendo ser associada a uma piritita de hábito predominantemente octaédrico ou a glóbulos isolados de piritita framboidal. A Camada Ibaté é mais rica em matéria orgânica que a porção superior do Membro FNSF, com TOC frequentemente acima de 1,0% até 2,5% (Castro *et al.*, 2002). Óses *et al.* (2017) apresentam que a disponibilidade de matéria orgânica (C) pode contribuir com a piritização mais generalizada – não estando associada exclusivamente ao interior dos fósseis, mas por toda a matriz.

A composição resultante para o osso de osteíctes e para a escama cicloide é semelhante a fórmula química da hidroxiapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. A estrutura desse biomineral permite a ocorrência de substituições catiônicas e aniônicas com facilidade, resultando em uma alta flexibilidade para a ocorrência de substituições em várias regiões de sua estrutura mineral (Costa *et al.*, 2009; Keenan, 2016). O Ca^{2+} pode ser substituído por metais como o Pb^{2+} , Cb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Sr^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} e Mn^{2+} – permitindo o rastreamento desses metais e de elementos terras raras –; os grupos de fosfatos por carbonatos e vanadatos; e as hidroxilas por carbonatos, flúor e cloro (Costa *et al.*, 2009). Para o osso pode ser que tenha ocorrido a substituição do cálcio na estrutura cristalina da hidroxiapatita por estrôncio (Sr), zinco (Zn) e manganês. Na escama o flúor foi o elemento que apresentou maior contraste com a matriz e esse pode substituir as hidroxilas nesse biomineral, resultando na formação de fluorhidroxiapatita ou fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) – o flúor é considerado uma das impurezas mais importantes da hidroxiapatita dos tecidos calcificados, pois torna a estrutura cristalina mais estável e menos solúvel (Costa *et al.*, 2009).

A bioapatita consiste em uma fração orgânica e inorgânica formando um composto que fornece ao esqueleto e ossos flexibilidade e força (Keenan, 2016). A fração inorgânica ou mineralizada da bioapatita é mais semelhante em estrutura e composição à hidroxiapatita, com

elementos secundários adicionados $\{Na_y(Ca,Mg)_{10-x-y} [(PO_4)_{6-x-y}(CO_3)_{x+y}] (OH)_{2-x}\}$ (Li & Pasteris, 2014b). E quando removido de um organismo, a bioapatita sofre necrólise, biostratinomia e diagênese, transformando o tecido vivo original em fase (s) de bioapatita fóssil (Figura 28). No mapeamento resultante para o osso não foi obtido nenhum pico para o fósforo indicando que possivelmente a estrutura original da hidroxiapatita foi alterada durante o processo de fossilização.

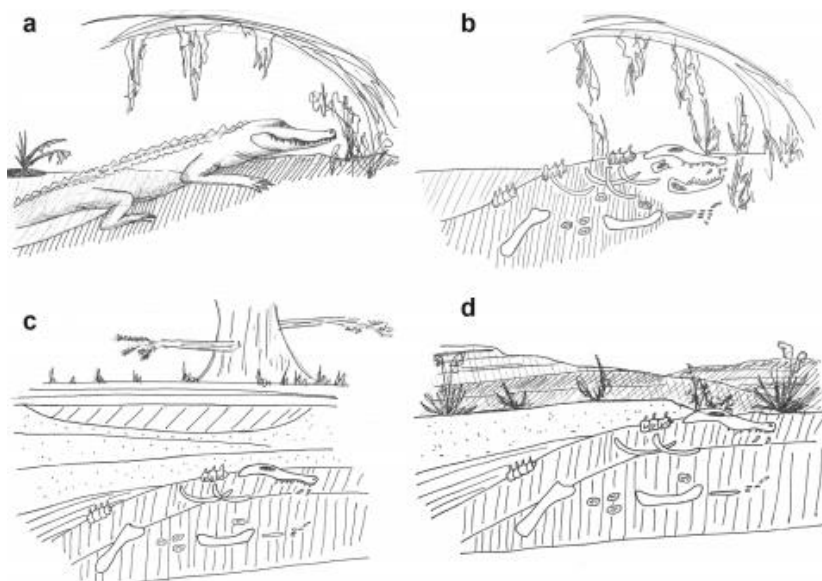


Figura 28. Desenho esquemático da diagênese, da vida até a morte de um animal. **A e B.** Após a morte de um animal os ossos podem ser depositados dentro do mesmo sistema ocupado em vida; **C.** A atividade de processos catadores, microorganismos e fatores físicos que podem remover alguns dos ossos, resultando em um registro fóssil fragmentado e incompleto. Enterro e diagênese, que transformam o osso original em apatita fóssil, aumentar o potencial de preservação; **D.** Erosão subsequente de sedimentos sobrepostos pode trazer o osso fossilizado de volta à superfície. Cada um desses estágios dos resultados da diagênese em físico e químico modificação do original bioapatita (Modificado de Keenan 2014; Keenan, 2016).

O processo de diagênese pode ser dividido em dois intervalos para descrever a fossilização: de forma precoce e tardia. No caso dos ossos, a diagênese precoce geralmente é atribuída à alteração inicial do osso. Processos de diagênese precoce para essa estrutura incluem a remoção de tecidos (músculo e pele), degradação do colágeno (abiótica/ biótica) e alterações químicas e estruturais iniciais no componente mineralizado do osso - a bioapatita - resultando em decomposição ou potencialmente em preservação (Keenan, 2016).

A remoção de compostos orgânicos, incluindo colágeno, possibilita a abertura da estrutura óssea e da bioapatita para o movimento do fluido subsequente (Figura 29). A migração dos fluidos derivados do ambiente facilita a substituição de íons na bioapatita para formar uma fase termodinamicamente mais estável (Keenan, 2016). A alteração diagenética tardia inclui a modificação estrutural e química adicional na rede da apatita, resultando na

formação de uma nova fase desse mineral e na potencial substituição da bioapatita original, o que acreditasse que tenha ocorrido para esse material ósseo.

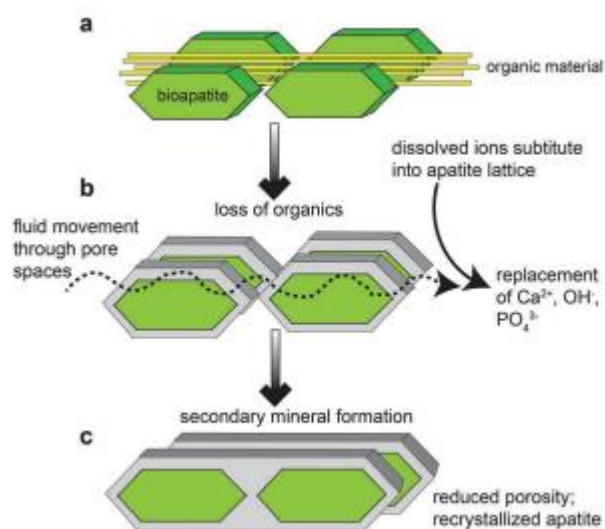


Figura 29. Vista esquemática da diagênese da bioapatita. **A.** *In vivo*, a bioapatita consiste em fases minerais e orgânicas intercaladas; **B.** Após a deposição de um osso em um sistema ambiental, a degradação do colágeno (autolítica ou biológica) abre espaços porosos para o movimento de fluidos com íons dissolvidos; **C.** Substituição de elementos na rede de bioapatita resulta na formação de fases minerais secundárias, com porosidade reduzida e aumento do tamanho de cristalitos (Modificado de Keenan 2014; 2016).

A decomposição bacteriana da matéria orgânica desempenha um papel importante na diagênese fóssil, controlando o pH, Eh e, portanto, a paragenese mineral durante a fossilização (Allison, 1988b; Raiswell *et al.*, 1993; Sellés-Martínez, 1996; Schweitzer *et al.*, 2005; Xiao *et al.*, 2010). De modo que, mesmo que a redução de sulfato aumente a alcalinidade (HCO_3^- ; Canfield & Raiswell, 1991), a redução de sulfato ($2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{HS}^- + \text{H}^+$) e a precipitação de pirita ($\text{Fe}^{2+} + \text{HS}^- \rightarrow \text{FeS} + \text{H}^+$; $\text{FeS} + \text{S}^0 \rightarrow \text{FeS}_2$) resultam em uma produção líquida de H^+ , que pode levar a uma diminuição local do pH (Zabini *et al.*, 2012). O seu declínio ainda poderia ser aumentado em condições anóxicas (onde o Fe é fornecido em Fe^{2+} em vez de Fe^{3+} , e S^{2-} é oxidado em S^0 por S^0 em vez de O_2) e em condições de pCO_2 alto (Bosak & Newman, 2003).

Essa queda no pH em ambientes que são saturados por CaCO_3 facilita a precipitação da apatita – biofilmes microbianos crescem sobre os restos e acabam controlando a precipitação que acontece ao redor do fóssil. Segundo Briggs & Kear (1994), o próprio exoesqueleto de artrópodes pode favorecer que esse tipo de reação ocorra no interior dos restos desses organismos. A fonte de fósforo pode ser da própria decomposição de outras partes da carcaça (efeito mais pontual) ou de uma fonte externa no ambiente (por exemplo, uma contribuição dos sedimentos provenientes da erosão do basalto) e ter permitido a

formação desse mineral nesse paleolago – de acordo com o que foi obtido na análise das lâminas petrográficas e nas composições do EDS.

A incorporação de íons carbonato (CO_3^{2-}) no lugar de íons fosfato (PO_4^{3-}) ou hidroxila ocorrem em uma variedade de condições de pH (Berna *et al.*, 2004). Portanto, essa flexibilidade na possibilidade de substituições químicas na estrutura da apatita desempenha um papel importante na diagênese e preservação do osso no decorrer do tempo geológico. De acordo com Keenan (2016), na maioria dos ossos fossilizados, a apatita é enriquecida com flúor e/ou carbonato. Os ossos mais próximos da composição da hidroxiapatita podem ser mais instáveis sob condições em que há baixas concentrações totais de fósforo, associado a um pH ácido. Porém, se os fluidos possuem uma concentração de fósforo total alta, a estabilidade da hidroxiapatita mudará para uma faixa mais ampla de condições de pH. Assim, considerando o fornecimento desse elemento por meio do intemperismo ao redor desse antigo lago é possível compreender que mesmo em um ambiente ácido foi possível a preservação dos fragmentos ósseos (associado, predominantemente, a um pH alcalino).

A concha de um ostracode é formada por uma camada externa de quitina $[(\text{C}_8\text{H}_{13}\text{O}_5\text{N})_n]$ e uma interna calcária, enquanto que a do gastrópode é composta predominantemente por carbonato de cálcio, além da concentração de outros elementos nas espiras superiores, como ferro, fósforo, cobre e zinco (Tabela 5 – resumo das composições das diferentes conchas estudadas). Dessa forma, é possível que a composição obtida através do mapeamento por $\mu\text{-XRF}$ e o EDS sejam de resquícios da concha que foram preservadas pela ação desses microrganismos e a coloração escura pode estar relacionada a ocorrência de piritização. Ambos os métodos obtiveram para a composição desse material metais como cobre, vanádio, ferro, além do cálcio – que pode corresponder ao carbonato de cálcio enquanto o fósforo pode estar relacionado a composição da concha quanto da apatita.

Tabela 5. Composição original das conchas dos fósseis pertencentes ao intervalo FNSF2, Formação São Carlos.

Fóssil	Composição – concha original	Resquícios
Conchostráceo	Constituída de quitina $(\text{C}_8\text{H}_{13}\text{O}_5\text{N})_n$, podendo ser impregnadas ou não por carbonato de cálcio	Molde interno ou externo; concha original preservada ou piritizada
Ostracode	Camada externa de quitina $[(\text{C}_8\text{H}_{13}\text{O}_5\text{N})_n]$ e uma interna calcária	Molde interno ou externo; ocorrências pontuais da concha, associada a piritização
Gastrópode	Predominantemente carbonato de cálcio. Pode ocorrer nas espiras superiores, ferro, fósforo, cobre e zinco	Molde interno ou externo; ocorrências da concha preservada na região apical, associada a piritização

Foram encontrados dos gastrópodes e ostracodes apenas os moldes externos – modelagem da superfície externa – e/ou internos – revelam a morfologia ou estrutura interna do organismo. As cavidades internas das conchas são preenchidas com os sedimentos circundantes durante o soterramento desses fósseis. Com o decorrer do tempo, elas acabam sendo dissolvidas pelas águas percolantes, restando apenas o espaço que era ocupado anteriormente pela concha, preservando características do seu formato (Carvalho, 2010).

Assim, o processo de precipitação da piritita associado ao alto teor de matéria orgânica e a eutrofização – que permite um acúmulo ainda maior de matéria orgânica – reduzem o pH dissolvendo as conchas compostas predominantemente por carbonato de cálcio, por isso só foram preservados os moldes. Pelas imagens de EDS e micro-XRF é possível notar que o Ca ocorre de uma forma pontual, para a espira da concha, e está presente nos ossos e escamas. Porém essas estruturas foram pouco preservadas, permitindo a conservação apenas as que sofreram alterações na composição da bioapatita, resultando em minerais mais estáveis que suportaram essas condições de baixo pH.

Na porção superior do FNSF2, na qual há ocorrência desses crustáceos, a quantidade de matéria orgânica é bem menor e a piritização é mais rara, quando comparada a Camada Ibaté. Apesar dessas condições auxiliarem na diminuição da acidificação do ambiente, as conchas dos moluscos ainda foram dissolvidas – acredita-se que esse processo ocorreu de forma mais pontual –, pois não foram encontradas conchas de ostracodes e gastrópodes preservadas como as dos conchostráceos. Esse fator está relacionado com a composição das conchas, já que apenas os conchostráceos possuem quitina como principal componente dessas estruturas, resultando em maior resistência ao material a esses parâmetros – possui baixa reatividade química. Nessa porção os gastrópodes também não apresentavam, com a mesma frequência, a região apical escurecida.

8. CONCLUSÃO

1. Os fósseis estudados de gastrópodes podem ser uma ocorrência de cf. *Viviparus* como descrito por Mezzalana (1974) e Ghilardi *et al.* (2011), porém as análises estatísticas e a descrição prévia realizada nesse trabalho divergem de algumas das características definidas pelos autores para essa espécie. Portanto, para uma melhor classificação taxonômica é necessário um avanço no estudo.
2. Foi possível identificar mais uma ocorrência da ordem dos Siluriformes no Grupo Bauru, por meio de espinhos de nadadeira. Já haviam sido registrados nas cidades de Santo

Anastácio, Uberaba, Ibirá, Jales, Flórida Paulista, Marília e Presidente Prudente. Além da possibilidade de existir mais dois taxa diferentes entre o material analisado – diferentes tipos de escamas (cicloides e lisas) e ossos, que não são encontrados em Siluriformes.

3. Os *charcoals* são oriundos da queima de lenhos de angiospermas que pode ter ocorrido durante o Grande Incêndio do Santoniano. O tamanho dos fragmentos de carvão encontrados (microscópico e mesoscópico) sugerem que o transporte pode ter ocorrido pelo vento e estar relacionado a casos de incêndios regionais.

4. A deposição dessa camada se deu num ambiente lacustre onde houve a possibilidade de ação de sulfobactérias, que possivelmente induziram a precipitação da pirita por meio da decomposição da matéria orgânica (pirita framboidal). Esse processo está relacionado a condições anóxicas geradas na interface sedimento-água aliado a uma sedimentação mais lenta.

5. A atividade microbiana fez com que ocorresse uma acidificação do ambiente que pode ter auxiliado na decomposição das conchas dos moluscos, resultando apenas na preservação dos moldes preenchidos pelo mesmo material da matriz. A disponibilidade de carbonato de cálcio em um ambiente de pH baixo pode propiciar a precipitação de barita e de apatita e, essa última, pode ter ajudado na preservação de características das conchas. Foi possível compreender que o material escuro que recobria os moldes são resquícios das conchas desses animais que foram escurecidas durante o processo de fossilização. Ainda mais pela presença de metais (ferro, zinco, cobre e vanádio) que são reconhecidos por compor as conchas de gastrópodes ou pela concentração por meio da formação da pirita. Apenas as conchas dos conchostráceos foram melhores preservadas.

6. Os ossos encontram-se preservados, apesar de estarem condicionados a um ambiente ácido devido a provável presença de grandes concentrações de fósforo – pode ter ocorrido por meio da composição química das rochas de origem dos sedimentos depositados nessa camada. Assim, mesmo condicionado a um pH ácido ela ainda consegue manter a estabilidade de sua estrutura química.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ademolu, K., Precious, O., Ebenso, I., & Babatunde, I. (2016). Morphometrics and mineral composition of shell whorls in three species of giant African snails from Abeokuta, Nigeria. *Folia Malacologica*, 24(2), 81-84.
- Allison, P. A. (1988). The role of anoxia in the decay and mineralization of proteinaceous macro-fossils. *Paleobiology*, 14(2), 139-154.
- Almeida, F.F.M. De.; Carneiro, C.D.R.C. A Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista*

- Alvarenga H. & Nava, W.R. 2005. Aves Enantiornithes do Cretáceo Superior, Formação Adamantina, Estado de São Paulo, Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 2, Boletim de Resumos, Rio de Janeiro, 20 p.
- Alvarenga, H & Nava, W.R. Aves Enantiornithes do Cretáceo Superior da Formação Adamantina do Estado de São Paulo, Brasil. In: Congresso Latino Americano De Paleontologia De Vertebrados, 2, 2005 Boletim..., p. 20. 2005.
- Alves, y. M. Revisão taxonômica de dipnoiformes e siluriformes do Grupo Bauru (Cretáceo Superior) Provenientes dos municípios de Santo Anastácio, Estado de São Paulo e Uberaba, estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, 2012.
- Arai, M., & Dias-Brito, D. (2018). The Ibaté paleolake in SE Brazil: Record of an exceptional late Santonian palynoflora with multiple significance (chronostratigraphy, paleoecology and paleophytogeography). *Cretaceous Research*, 84, 264-285.
- Arai, M., Lana, C.C., Araújo, C.V., Menezes, T.R., 2006. O grande incêndio do Santoniano: considerações geológicas e exploratórias. *Boletim de Geociências da Petrobras* 14 (1), 125-131.
- Arai, M.; Brito, D. D. The Ibaté paleolake in SE Brazil: Record of an exceptional late Santonian palynoflora with multiple significance (chronostratigraphy, paleoecology and paleophytogeography) *Cretaceous Research*, v. 84, p. 264 – 285, 2017.
- Arai, M.; Brito, D. D.; Castro, J. C.; Assine, M. L. Palinologia da Formação São Carlos (Grupo Bauru, Cretáceo Superior): implicações cronoestratigráficas e paleoambientais. 14º Simpósio de Geologia do Sudeste. 26 a 29 de outubro de 2015, Campos do Jordão-SP.
- Arid, E., Vizotto, L.D. 1963. Sobre vertebrados fósseis no Município de Ibirá, São Paulo. *Ciência e Cultura*, 15(3):181-182
- Arid, F.M.; Vizotto, L.P. & Landin, P.M.P. 1962. A ocorrência de um jazigo fossilífero nos arredores de São José do Rio Preto. *Ciência e Cultura*, 14(3):172.
- Astrop, T.I., Hegna, T.A., 2015. Phylogenetic relationships between living and fossil spinicaudatan taxa (Branchiopoda Spinicaudata): reconsidering the evidence. *Journal of Crustacean Biology* 35, 339-354.
- Azevedo, R.P.F., Vasconcelos, P. L., Candeiro, C. R. A., Bergqvist, L.P. 2007. Restos microscópicos de vertebrados fósseis do Grupo Bauru (Neocretáceo), no oeste do estado de São Paulo, Brasil. In: Carvalho, I.S., Cassab, R.C.T., Schwanke, C., Carvalho, M.A., Fernandes, A.C.S., Rodrigues, M.A.C., Arai, M., Oliveira, M.E.Q. (eds) *Paleontologia: Cenários de vida*. Interciência, Rio de Janeiro, p.534-541
- Batezelli, A. Análise da sedimentação cretácea no triângulo mineiro e sua correlação com áreas adjacentes. 2003. 183 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.
- Batezelli, A. Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das Bacias Caiuá e Bauru no Sudeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, v.40, n.2, p.265-285, 2010.
- Batezelli, A. Continental systems tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and their relationship with the tectonic and climatic evolution of South America. *Basin Research*, v. 1, p. 1–25, 2015.
- Batezelli, A. Continental Systems tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and their relationship with the tectonic and climatic evolution of South America. *Basin Research*, v.29, p.1-25, 2017.
- Batezelli, A.; Gomes, N.S.; Perinotto, J.A.J. Petrografia e evolução diagenética dos arenitos da porção norte e nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). *Revista Brasileira de Geociências*, v.35, p.311-322, 2005.
- Batezelli, A.; Saad, A.R.; Basilici, G. Arquitetura deposicional e evolução da seqüência aluvial neocretácea da porção setentrional da Bacia Bauru, no sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, v.37, p.163–181, 2007.

- Batezelli, A.; Saad, A.R; Etchebehere, M.L.C., Perinotto, J.A.; Fúlfaro, V.J. Análise Estratigráfica Aplicada À Formação Araçatuba (Grupo Bauru – Ks) No Centro-Oeste do Estado de São Paulo. *Revista Geociências*, V.22, p.05-19, (número especial), 2003.
- Batezelli, A.; Saad, A.R; Perinotto, J.A.; Fúlfaro, V.J. Análise Estratigráfica Aplicada à Reconstrução Paleogeográfica da Porção Norte e Nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). *Revista Brasileira de Geociências*, v 23(2), p.253-268, 2006.
- Batezelli, A. & LADEIRA, F.S.B. Stratigraphic framework and evolution of the Cretaceous continental sequences of the Bauru, Sanfranciscana, and Parecis basins, Brazil. *Journal of South America Earth Sciences*.v.65, P.1-24, 2015.
- Berna, F., Matthews, A., and Weiner, S. (2004) Solubilities of bone mineral from archaeological sites: the recrystallization window. *Journal of Archaeological Science*, 31, 867–882.
- Bertini, R. J. Comments on the fossil amniotes from the Adamantina and Marília formations, continental Upper Cretaceous of the Paraná Basin, Southeastern Brazil (Part 2: Saurischia, Ornithischia, Mammalia, Conclusions and final Considerations). In: *Simpósio Sobre O Cretáceo Do Brasil*, 3.1994, Rio Claro. *Boletim... Universidade Estadual Paulista*, p. 101-104.1994.
- Bertini, R.J., Marshall, L.G., Gayet, M., Brito, P. 1993. Vertebrate faunas from the Adamantina and Marília formations (Upper Bauru Group, late Cretaceous, Brazil) in their stratigraphic and paleobiogeographic context. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie –Abhandlungen*, 188(1):71-101.
- Bittencourt, Jonathas S., et al. The morphology and systematics of the clam shrimp *Platyestheria* gen. nov. *abaetensis* (Cardoso)(Crustacea, Spinicaudata) from the Lower Cretaceous of the Sanfranciscana Basin, southeast Brazil. *Cretaceous Research*, 2018, 91: 274-286.
- Bonny, S., Jones, B. 2008. Experimental precipitation of Barite (BaSO₄) among streamers os sulfur-oxidizing bacteria. *Journal of Sedimentary Research*, 78:357–365.
- Botkin, D.E. and Edward, A.K. 1988. *Environmental Science*. 2nd Edition. John Wiley and Sons: Montreal, Canada. 392.
- Brasileira de Geociências*, v28 (2), p.135-150, 1998.
- Briggs, D. E., & Kear, A. J. (1994). Decay and mineralization of shrimps. *Palaios*, 431-456.
- Bosak, T., & Newman, D. K. (2003). Microbial nucleation of calcium carbonate in the Precambrian. *Geology*, 31(7), 577-580.
- Brito, P.M., Amaral, C.R.L.,Machado, L.P.C.A. 2006. Ictiofauna do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia Bauru, Sudeste do Brasil. In: GALLO, V., BRITO, P.M., SILVA, H.M.A., FIGUEIREDO, F.J. (eds.) *Paleontologia de Vertebrados: Grandes Temas e Contribuições Científicas*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1, 133-143
- Brown, S. A., Scott, A. C., Glasspool, I. J., &Collinson, M. E. (2012). Cretaceouswildfiresandtheirimpactonthe Earth system. *Cretaceousresearch*, 36, 162-190.
- Bruch, A.A., Pross, J. Palynomorph extraction from coals in Jones, T.P., Rowe, N.P. (eds.), *Fossil plants and spores: modern techniques*. Geological Society, London, 26-30, 1999.
- Campanha, V.A.; Etchbehere, M.L.C.; Saad, A.R. & Fulfaro, V.J. 1993. Novas corréncias fossilíferas no Grupo Bauru na região do triângulo mineiro, MG. *Geociências*, São Paulo, 12(2):353-372.
- Candeiro, C. R. A. Martinelli, A.G. Avilla, L. S. & Rich T. H. Tetrapods from the Upper Cretaceous (TuronianeMaastrichtian) Bauru Group of Brazil: a reappraisal. *Cretaceous Research*.v..27.p. 923-946, 2006.
- Candeiro, C.R.A. & Martinelli, A.G. A review of paleogeographical and chronostratigraphical distribution of mesoeucrocodylian species from the Upper Cretaceous beds from the

- Bauru (Brazil) and Neuquén (Argentina) groups, Southern South America. *Journal of South America Earth Science*. v. 22 n.1–2, p.116–129., 2006.
- Canfield, D. E. (1991). Pyrite formation and fossil preservation. *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*, Topics in Geobiology, 9, 337-387.
- Carvalho, A.B; Zaher, H & Nava, W.R. 2003. A new fossil anuran (Lissamphibia:Tetrapoda) from the continental Upper Cretaceous Bauru Basin, state of São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 18, Boletim de Resumos, Brasília, p. 88-89.
- Carvalho, I. S. Paleontologia: conceitos e métodos. Volume 1, 3ª edição, Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- Carvalho, I.S., Ribeiro, L.C.B.& Avilla, L.S. *Uberabasuchus terrificus* sp. nov. a new crocodylomorpha from the Bauru Basin (Upper Cretaceous). *Brazil. Gondwana Research* v. 7, p. 975 -1002, 2004.
- Castro, J.C., Dias-Brito, D., Arai, M., Rodrigues, R., Musacchio, E.A., 2002. Formação Carlos: uma nova unidade para o Grupo Bauru (Cretáceo Continental do Brasil). In: Castro, J.C., Dias-Brito, D.R., Musacchio, E.A., Rohn, R. (Eds.), *Boletim do VI Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*. UNESP, São Pedro, pp. 351 e 357.
- Coimbra, A.M. Sistematização crítica da obra. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- Coimbra, A.M.; Brandt-Neto, M.; Coutinho, J.M.V. Silicificação dos Arenitos da Formação Bauru no Estado de São Paulo. In: *A FORMAÇÃO BAURU NO ESTADO DE SÃO PAULO E REGIÕES ADJACENTES*, São Paulo, 1981. Coletânea de trabalhos e debates... São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, p.103–115, 1981.
- Costa, C.G.; Callado, C.H.; Coradin, V.T.R.; Carmello-Guerreiro, S.M. Xilema. Capítulo 5, *Livro Anatomia Vegetal*, Editora UFV, p. 129, 2006.
- Coutinho, J.M.V., Coimbra, A.M., Brandt Neto, M., Rocha, G.A., 1982. Actas del 5º Congreso Latino-Americano de Geologia, Argentina. Lavas alcalinas analcímicas associadas ao Grupo Bauru (Kb) no Estado de São Paulo, Brasil, vol. II, pp. 185e195.
- de Melo Costa, A. C. F., de Lima, M. G., de Almeida Lima, L. H. M., Cordeiro, V. V., de Souto Viana, K. M., de Souza, C. V., & de Lucena Lira, H. (2009). 4. Hidroxiapatita: Obtenção, caracterização e aplicações. *Revista eletrônica de Materiais e Processos*, 4(3).
- Dias-Brito, D., Musacchio, E. A., Maranhão, M. S. A. S., Suárez, J. M., & Castro, J. C. (2002). Micropaleontologia do Grupo Bauru em Neves Paulista–SP (Brasil) e uma primeira proposta de partição estratigráfica da Formação Adamantina em dois intervalos microbióticos. In *Boletim do 6o Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil/2o Simposio sobre El Cretácico de América Del Sur*. São Pedro, Rio Claro (pp. 335-343).
- Dias-Brito, D., Musacchio, E.A., Castro, J.C., Maranhão, M.S.A.S., Suarez, J.M., Rodrigues, R., 2001. Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo do Brasil e concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos. *Revue de Paléobiologie* 20 (1), 245e304.
- Dias-Brito, D.; Musacchio, E. A.; Castro, J. C.; Maranhão, M. S. A. S.; Suárez, J. M.; Rodrigues, R. Grupo Bauru: uma unidade continental Cretácea no Brasil – concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos – *Revue Paléobiol. Genève* 20, (1): 245-304, 2001.
- Dulbera, W. Interpretações paleoambientais obtidas a partir das variações na coloração das carapaças de foraminíferos, da Enseada do Flamengo, SP. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 42, n. 1-2, p. 63-72, 1994.
- Eschmeyer, W. N., & Fong, J. (2011). D. 2011. Species of Fishes by family/subfamily.
- Fernandes, L. A.; Coimbra, A. M. 2000. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, v.30, n.4, p.717-728; 2000.

- Fernandes, L. A.; Coimbra, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, v.30, n.4, p.717-728; 2000.
- Fragoso, C.E., Weinschütz, L.C., Vega, C.S., Guimarães, G.B., Manzig, P.C., Kellner, A. W. A. (2013) Short note on the pterosaurs from the Caiuá Group (Upper Cretaceous, Bauru Basin), Paraná State, Brazil. In: *Rio Ptero 2013 - International Symposium on Pterosaurs*, 2013, Rio de Janeiro. *International Symposium on Pterosaurs, Short Communications*, 2013. p. 71-72.
- Fragoso, D. G. C., Uhlein, A., Sanglard, J. C. D., Suckau, G. L., Guerzoni, H. T. G., & Faria, P. H. (2013). Geologia dos grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda na folha Presidente Olegário (1: 100.000), MG: registro deposicional do Neoproterozóico ao Neocretáceo da Bacia do São Francisco. *Revista Geonomos*, 19(1).
- Fúlfaro, V.J. Tectônica do Alinhamento Estrutural do Paranapanema. *Boletim de Geociências USP*, v.5, p.129–138, 1974.
- Gayet, M., Brito, P.M. 1989. Ichthiofaune nouvelle du Crétacé supérieur du Groupe Bauru États de São Paulo et Minas Gerais, Brésil. *Geobios*, 22(6): 841-847
- Ghilardi, R. P., Rodrigues, S. C., Simone, L. R., Carbonaro, F. A., & Nava, W. R. (2011). Moluscos fósseis do grupo bauru. *Paleontologia: Cenários de Vida*, 4, 239-250.
- Ghilardi, R. P.; Carbonaro, F. A.; Simone, L. R. L. *Physa mezzalirai*: um novo gastrópode da Formação Adamantina (Bacia Bauru), Cretáceo Superior, São Paulo, Brasil. *Gaea-Journal of Geoscience*, v. 6, n. 2, p. 63-68, 2010.
- Ghilardi, R.P. & Benedetti, G.F.S. 2004. Reconhecimento de Cicatrizes Musculares e Considerações Prévias sobre a Paleoecologia e Tafonomia de ?Anodontites (Bivalvia, Unionoida) do Grupo Bauru (Cretáceo Superior, Bacia Bauru). In: *PALEO, NÚCLEO SÃO PAULO-2004. Boletim de Resumos da Paleo-2004*, p.12-13.
- Ghilardi, R.P. & Rosa, M.S.A.S.M. 2010b. Anatomia interna de alguns moluscos bivalves fósseis do Grupo Bauru (Cretáceo Superior, Bacia Bauru), Brasil: implicações paleoecológicas. *Terr@Plural*, 4(1):113-119.
- Ghilardi, R.P.; Carbonaro, F.A. & Simone, L.R.L. 2010. *Physa mezzalirai*: um novo gastrópode da Formação Adamantina (Bacia Bauru), Cretáceo Superior, São Paulo, Brasil. *Gaea* 6(2): 63-68.
- Ghilardi, R.P.; Carbonaro, F.A. & Simone, L.R.L. 2010a. *Physa mezzalirai*: um novo gastrópode da Formação Adamantina (Bacia Bauru), Cretáceo Superior, São Paulo, Brasil. *Gaea - Journal of Geoscience*, 6(2):63-68.
- Ghilardi, R.P.; D'agosta, F.C.P. & Simone, L.R.L. 2007. *Itaimbea* sp. Nov., uma nova espécie de Iridinidae fóssil (Bivalvia: Etherioidea) do Grupo Bauru (Bacia Bauru, Cretáceo Superior), Monte Alto, São Paulo, Brasil. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA*, 20. Anais, p. 170.
- Ghilardi, R.P.; D'agosta, F.C.P.; Tavares, S.S. & Campos, A.C.A. 2006. Taphonomy of late Cretaceous freshwater bivalves from Bauru Group, Bauru Basin (Monte Alto County, São Paulo State, Brazil): paleoenvironmental implications. In: *INTERNATIONAL CONGRESS ON BIVALVIA. Scientific Program and Abstracts of International Congress on Bivalvia – Bivalvia 2006*, Barcelona, 37p.
- Gibson, S.A., Thompson, R.N., Lionarodos, O.H., Dickin, A.P., Mitchell, J.G. The late cretaceous Impact of the trindade mantle plume: evidence from large volume, Mafic, Potassic Magmatism in SE Brazil. *J. Petrol*, v. 36 (1), p.189-229, 1995
- Gobbo-Rodrigues, S. R. Carófitas e Ostrácodes do Grupo Bauru. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2001.
- Guimarães, G. B., Liccardo, A., Godoy, L. C., Weinshütz, L. C., Manzig, P. C., Vega, C. S., Pilatti, F. (2012) Ocorrência de Pterossauros no Cretáceo da Bacia do Paraná/Bauru:

- Implicações para a Geoconservação, Paleontologia e Estratigrafia. In: 46th Geology Brazilian Congress, Santos (São Paulo), 48.
- Harris, T.M., 1958. Forest fire in the Mesozoic. *Journal of Ecology* 46, 447–453.
- Hasui, Y. & Haraláyi, N.L.E. Aspectos Lito-estruturais e Geofísicos do Soerguimento do Alto Paranaíba. *Geociências*, v. 10, p. 67-77. 1991.
- Hasui, Y.; Haraláyi, N.L.E. Aspectos lito-estruturais e geofísicos do Soerguimento do Alto Paranaíba. *Geociências*, v.10, p.67–77, 1981.
- Ihering, H. 1913. *Pleiodon priscus*. In: COMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA. Exploração do Rio Grande e seus afluentes: São José dos Dourados, São Paulo, 39p.
- Jarzembowski, E.A., 2003. “Burnt” beetles (Insecta: Coleoptera) from the Wealden of southern England. *Acta zoologica cracoviensia* 46, 139–145 (suppl – fossil insects).
- Keenan, S. W. (2016). From bone to fossil: A review of the diagenesis of bioapatite. *American Mineralogist*, 101(9), 1943-1951.
- Klein, C., & Dutrow, B. (2012). *Manual de Ciências dos Minerais* (23ª edição). Tradução e revisão técnica: Rualdo Menegat. Editora Bookman, Porto Alegre, Brasil.
- Laurini, C.R. 2007. Microrestos de vertebrados da região de Ibirá, noroeste do Estado de São Paulo (Grupo Bauru, Cretáceo Superior). Universidade de São Paulo, Trabalho de conclusão de curso, 46 pp
- Lima, M.R., Mezzalira, S., Dino, R., Saad, A.R., 1986. Descoberta de microflora em sedimentos do Grupo Bauru, Cretáceo do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico* 7 (1/2), 5e9.
- Liu, A. G. (2016). Framboidal Pyrite Shroud Confirms The ‘Death Mask’ model For Moldic Preservation Of Ediacaran Soft-Bodied Organisms. *Ediacaran Taphonomy*. G. LIU. *Palaios*, 31(5), 259-274. g. liu. *Palaios*, 31(5):259{274, 2016.
- MacLean, L. C. W., Tylliszczak, T., Gilbert, P. U. P. A., Zhou, D., Pray, T. J., Onstott, T. C., & Southam, G. (2008). A high-resolution chemical and structural study of framboidal pyrite formed within a low-temperature bacterial biofilm. *Geobiology*, 6(5), 471-480.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M. & Parker, J. 2000. *Biology of Microorganisms*, 9th Edition. Prentice Hall International, Upper Saddle River.
- Martinelli, A. G., Riff, D., & Lopes, R. P. (2011). Discussion about the occurrence of the genus *Aeolosaurus* Powell 1987 (Dinosauria, Titanosauria) in the Upper Cretaceous of Brazil. *Gaea: Journal of Geoscience*, 7(1).
- Mezzalira, S. 1966. Os fósseis do Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto de Geografia e Geologia*, 45:1-132
- Mezzalira, S. & Simone, L.R.L. 1997. A posição sistemática de alguns bivalves unionoidea do grupo Bauru (Cretáceo Superior) do Brasil, *Geociências*, 2(6):63-65.
- Mezzalira, S. & Simone, L.R.L. 1999. Duas novas espécies de *Castalia* (Mollusca, Bivalvia, Unionoidea) no Cretáceo do Grupo Bauru, São Paulo, Brasil. *Geociências*, 4(6):58-60.
- Mezzalira, S. 1959. Nota preliminar sobre os recentes descobertas paleontológicas no Estado de São Paulo, no período de 1958/59. *Notas prévias do Instituto de Geografia e Geologia*, 2:1-1
- Mezzalira, S. 1966. Os fósseis do Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*.
- Mezzalira, S., 1974. Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru. Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, 163 pp., 2 pls., map (Boletim IGG 51).
- Mezzalira, S., 1989. Os fósseis do Estado de São Paulo. Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 136 p., 13 pls. (Série Pesquisa IG-SMA, seconded).

- Mezzalana, S.; Dino, R.; Saad, A. R. Descoberta de microflora em sedimentos do Grupo Bauru, Cretáceo do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, v. 7, n. 1-2, 1986.
- Nava, W. R., & Martinelli, A. G. (2011). A new squamate lizard from the Upper Cretaceous Adamantina Formation (Bauru Group), São Paulo State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83(1), 291-299.
- Nava, W.R. & Martinelli, A.G..2011. A new squamate lizard from the Upper Cretaceous, Adamantina Formation (Bauru Group), São Paulo State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83: 291-299.
- Neves, L. F. Geoquímica e proveniência sedimentar da Formação São Carlos (Grupo Bauru - Cretáceo Superior). Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual de Campinas, 2016.
- Osés, G. L., Petri, S., Voltani, C. G., Prado, G. M., Galante, D., Rizzutto, M. A., ... & Sucerquia, P. A. (2017). Deciphering pyritization-kerogenization gradient for fish soft-tissue preservation. *Scientific reports*, 7(1), 1468.
- Pacheco, J. A. A. 1913. Relatório da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, p. 33-38.
- Parodiz, J.J. 1969. The Tertiary Non-Marine Mollusca of South America. *Annals of Carnegie Museum*, 40:1-242.
- Price, L. 1955. Novos crocodilídeos dos arenitos da Série Bauru, Cretáceo do Estado de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 27(4):487-498
- Raiswell, R., Whaler, K., Dean, S., Coleman, M. L., & Briggs, D. E. G. (1993). A simple three-dimensional model of diffusion-with-precipitation applied to localised pyrite formation in framboids, fossils and detrital iron minerals. *Marine Geology*, 113(1-2), 89-100.
- Riccomini, C. Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-Gondwânicos da Porção Centro-Oriental do Estado de São e Áreas Vizinhas. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1995.
- Rohn, R., Yan-bin, S., Dias-Brito, D., 2005. A new coniacianesantonianconchostracan genus from the Bauru Group, south-east Brazil: taxonomy, palaeobiogeography and palaeoecology. *Cretaceous research* 26, 581-592.
- Santos, E. S., Gama, E. M., França, R. S., Souza, A. S., & Matos, R. P. (2013). Espectrometria de Fluorescência de Raios-X na determinação de espécies químicas. *Enciclopédia Biosfera*, 9(17), 3413-3432.
- Santucci, R. M. & Bertini, R. J. Distribuição Paleogeográfica e Biocronológica dos Titanossauros (Saurischia, Sauropoda) do Grupo Bauru, Cretáceo Superior do Sudeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n.º 3, p. 307-315, 2001.
- Sawlowicz, Z. (1993). Pyrite framboids and their development: a new conceptual mechanism. *Geologische Rundschau*, 82(1), 148-156.
- Schweitzer, C. E., Feldmann, R. M., Marensi, S., & Waugh, D. A. (2005). Remarkably preserved annelid worms from the La Meseta Formation (Eocene), Seymour Island, Antarctica. *Palaeontology*, 48(1), 1-13.
- Scott, A. C. (2010). Charcoal recognition, taphonomy and uses in palaeoenvironmental analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291(1-2), 11-39.
- Scott, A.C., 2001. Preservation by fire. In: Briggs, D.E.G., Crowther, P.J. (Eds.), *Palaeobiology II*. Blackwells, Oxford, pp. 277–280.
- Scott, A.C., Freedberg, D., 2000. The paper museum of Cassiano dal Pozzo: A Catalogue Raisonné. *Geological collections: Fossil Woods and other specimens*. Harvey Miller Publications, London. 427 pp.

- Selles-Martinez, J. (1996). Concretion morphology, classification and genesis. *Earth-Science Reviews*, 41(3-4), 177-210.
- Senko, J.M., Campbell, B.S., Henriksen, J.R., Elshahed, M.S., Dewers, T.A., Krumholz, L.R. 2004. Barite deposition resulting from phototrophic sulfideoxidizing bacterial activity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68:773–780.
- Simone, L.R.L. & Mezzalana, S. 1993. Vestígios de partes moles em um bivalve fóssil (Unionoida, Mycetopodidae) do Grupo Bauru (Cretáceo Superior), SP, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65(2):155-159.
- Solé, V.A., Papillon, E., Cotte, M., Walter, P., Susini, J., 2007. A multiplatform code for the analysis of energy-dispersive X-ray fluorescence spectra. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 62, 63-68.
- Stigall, A.L., Babcock, L.E., Briggs, D.E.G., Leslie, S.A., 2008. Taphonomy of lacustrine interbeds in the Kirkpatrick Basalt (Jurassic), Antarctica. *Palaios* 23, 344-355.
- Suarez, J.M. & Arruda, M.R. 1968. Jazigo fóssilífero no grupo Bauru, contendo Lamelibrânquios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, Sociedade Brasileira de Geologia, Belo Horizonte, Anais, p.212-290.
- Tasch, P., 1969. Branchiopoda. In: Moore, R.C. (Ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part R e Arthropoda 4*. Geological Society of America and the University of Kansas, Boulder, pp. R128-R191.
- Westall, F. & Rince, Y. 1994: Biofilms, microbial and microbeparticle interactions: electron microscope observations from diatomaceous sediments. *Sedimentology* 41, 147–162.
- Westall, F., Steele, A., Toporski, J., Walsh, M., Allen, C., Guidry, S., Gibson, E. & Chafetz, H. 2000: Polymeric substances and biofilms as biomarkers in terrestrial materials: Implications for extraterrestrial samples. *Journal of Geophysical Research – Planets* 105, 24,511–24,527.
- Xiao, S., Schiffbauer, J. D., McFadden, K. A., & Hunter, J. (2010). Petrographic and SIMS pyrite sulfur isotope analyses of Ediacaran chert nodules: Implications for microbial processes in pyrite rim formation, silicification, and exceptional fossil preservation. *Earth and Planetary Science Letters*, 297(3-4), 481-495.
- Zabini, C., Schiffbauer, J. D., Xiao, S., & Kowalewski, M. (2012). Biomineralization, taphonomy, and diagenesis of Paleozoic lingulide brachiopod shells preserved in silicified mudstone concretions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 326, 118-127.
- Zaher, H. D.; Langer, M. C.; Fara, E.; Carvalho, I.S. & Arruda, J. T. A Mais Antiga Serpente (Anilioidea) Brasileira: Cretáceo Superior do Grupo Bauru, General Salgado, Sp. *Paleontologia em Destaque*. n. 44. p. 52, 2003.
- Zaher, H.D.; Langer, M.C.; Fara, E.; Carvalho, I.S. & Arruda, J.T. 2003. A mais antiga serpente (Anilioidea) brasileira: Cretáceo Superior do Grupo Bauru, General Salgado, SP. *Paleontologia em Destaque*, 44: 50-51.

ANEXO A – Banco de dados considerando os parâmetros relevantes para a descrição dos moldes de gastrópodes da Formação São Carlos

Amostra	Número de voltas	Altura (mm)	Ângulo apical (°)	Descrição
CP4 39C	4	1,683	67,85	Molde; a primeira volta é bem estreita enquanto que a última volta é bem maior que as demais
CP4 39D	4	3,671	69,427	Molde; a primeira volta é bem estreita enquanto que a última volta é bem maior que as demais
CP4 39D	4	2,662	57,696	Molde; a primeira volta é um pouco maior, porém a última volta ainda é a mais larga e a última volta não é simétrica
CP4 39D	3	0,798	68,941	Molde; a primeira volta quase não aparece, a segunda já é mais evidente e a terceira é a maior das três e é assimétrica (um dos lados é mais largo que o outro)
CP4 42N	3	0,379	77,651	Molde; a primeira volta quase não aparece, a segunda já é mais evidente e a terceira é a maior das três e é assimétrica (um dos lados é mais largo que o outro)
CP4 42N	3	1,694	70,456	Molde; aparenta ter 3 voltas, encontra-se bem fragmentado; foi mais difícil retirar a medida do ângulo apical
CP4 11	4	3,667	88,996	Molde; na segunda volta apresenta um pouco de piritização; as larguras de cada volta vão aumentando sendo a última a maior
CP4 11	4	6,026	88,76	Molde; a primeira volta é bem estreita enquanto que a última volta é bem maior que as demais
CP4 11	3	4,324	88,613	Molde; as duas primeiras voltas encontram-se bem fragmentadas, foi difícil medir o ângulo
CP4 11	4	4,642	99,961	Molde; as duas primeiras voltas apresentam uma coloração levemente mais escura;
CP4 11	5	6,3	95,289	Molde; parece que há 5 voltas, pois há uma bem pequena antes de se iniciar as demais; assimetria bem marcada da última volta
CP4 11	3	5,053	111,232	Molde; a última volta é mais larga que as demais
CP4 11	4	2,449	95,891	Molde; a primeira volta encontra-se pouco preservada, as duas intermediárias apresentam quase que a mesma largura, enquanto que a última é mais larga e fica evidente a assimetria
CP4 11	4	5,031	106,089	Molde; a primeira volta encontra-se pouco preservada, a segunda é mais estreita que a terceira e essa já apresenta uma assimétrica como a última; a última é bem mais larga que as demais
CP4 7	4	2,585	82,019	Molde; as três primeiras voltas encontram-se pouco preservadas; última volta assimétrica e mais larga

CP4 7	4	2,657	96,03	Molde; as duas primeiras voltas foram pouco preservadas; a terceira apresenta uma coloração escura (mineral preto?); a última volta é mais larga e evidente assimetria
CP4 7	5	7,874	70,011	Molde; aparenta ter 5 voltas, sendo crescente o aumento da largura entre as voltas; melhor para medir o ângulo apical
CP4 41M	5	2,126	105,771	Molde; aparenta ter cinco voltas, porém as duas primeiras encontram-se pouco preservadas; a quarta e quinta apresentam assimetria e a quinta é muito mais larga que as demais (aumento de tamanho crescente)
CP4 41M	4	2,455	98,08	Molde; a primeira volta foi pouco preservada o que prejudicou a medida do ângulo apical
CP4 41M	4	4,424	11,254	Molde; apresenta uma coloração um pouco mais escura que a matriz; pela primeira volta não estar tão bem preservada foi mais difícil medir o ângulo
CP4 41M	5	6,459	99,015	Molde; apresenta um aumento crescente nas larguras das voltas, sendo a última mais larga e assimétrica
CP4 41M	4	4,175	87,849	Molde negativo, foi pouco preservado
CP4 41D	4	3,257		Molde; as duas primeiras voltas encontram-se pouco preservadas e dessa forma não foi possível medir o ângulo apical
CP4 41D	3	2,066		Molde; a primeira volta não foi preservada dificultando medir o ângulo apical
CP4 41D	5	3,362	87,043	Molde negativo; aparenta ter cinco voltas em tamanhos crescentes de largura
CP4 41D	3	2,971	103,052	Molde; a primeira volta é completamente preenchida pelo material escuro; o ângulo apical foi medido mesmo talvez não sendo a condição ideal
CP4 41D	3	4,386	103,447	Molde; a primeira volta é completamente preenchida pelo material escuro; o ângulo apical foi medido mesmo talvez não sendo a condição ideal
CP4 41D	3	0,523	104,883	Molde; a primeira volta não foi bem preservada e apresenta uma coloração mais escura que o restante, o ângulo foi medido com dificuldades
CP4 41D	4	0,565	96,872	Molde negativo; apresenta um aumento na largura crescente nas voltas, sendo a última assimétrica
CP4 41D	4	0,321	104,427	Molde negativo; a primeira volta foi pouco preservada, a última volta apresenta-se com assimetria menos evidente
CP4 41D	4	0,573	92,97	Molde negativo; a primeira volta encontra-se preenchida pelo material escuro; última volta é a mais larga e apresenta forte assimetria
CP4 41D	4	0,837	114,213	Molde; a primeira volta encontra-se pouco preservada e aparenta estar um pouco deformada e apresenta uma coloração mais escura; foi difícil medir o ângulo apical
CP4 41D	3	0,385		Molde; não foi possível medir o ângulo, pois a primeira volta encontra-se bem fragmentada

CP4 4	4	0,707	97,492	Molde negativo;
CP4 5	4	0,277	87,644	Molde; apresenta a primeira volta mais preservada, resultando em um formato mais cônico para a concha
CP4 41Q	4	0,237		Molde; primeiras voltas pouco preservadas
CP4 41Q	3	0,261	93,976	Molde; aparenta ter três voltas, porém pode haver uma quarta que não foi bem preservada; apresenta um formato cônico
CP4 41Q	3	0,281	106,886	Molde; as duas primeiras voltas são completamente preenchidas pelo material escuro; o formato é mais redondo (ponta não é bem definida); a última volta possui uma assimetria bem evidente
CP4 41Q	4	1,394	96,722	Molde negativo; concha apresenta um formato mais cônico
CP4 41Q	4	3,964	110,85	Molde; apresenta um formato cônico; a última volta é bem larga e não evidencia a assimetria
CP4 41Q	4	2,428	86,022	Molde; apresenta um formato cônico; a última volta é bem larga e não evidencia a assimetria
CP4 41Q	4	2,36	97,192	Molde; apresenta um formato cônico; a última volta é bem larga e não evidencia a assimetria
CP4 41Q	3	1,317	121,386	Molde; formato arredondado, sem um ápice evidente (primeira volta), dessa forma não foi possível medir o ângulo apical
CP4 41Q	4	1,346	106,182	Molde; formato um pouco mais cônico, porém a terceira e quarta volta já apresentam um formato assimétrico
CP4 41Q	4	4,247	100,699	Molde; terceira volta pouco preservada
CP4 41Q	3	3,238	111,473	Molde; primeira volta pouco preservada; formato mais arredondado
CP4 41Q	3	1,831	101,223	Molde; duas primeiras voltas pouco preservadas; formato um pouco mais definido
CP4 41Q	3	2,661	102,578	Molde; primeira volta com coloração mais escura
CP4 41Q	4	1,949	122,562	Molde; apresenta um formato mais arredondado, sem um ápice muito definido
CP4 41Q	3	1,649	115,072	Molde; região apical pouco preservada; formato mais arredondado
CP4 41Q	4?	2,682	86,342	Molde; apresenta um formato diferente dos demais
CP4 41Q	3	3,478	72,681	Molde negativo; a segunda volta apresenta o material escuro
CP4 18A	3	0,796	99,283	Molde; formato mais cônico
CP4 18A	3	1,169		Molde; formato mais arredondado, sem uma região apical definida
CP4 18A	4	1,504	75,669	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro; formato cônico
CP4 18A	4	1,419	102,899	Molde; primeira volta mais escura; formato mais cônico
CP4 18A	3	3,339	90,781	Molde; duas primeiras voltas preenchidas pelo material escuro

CP4 18A	3	1,907	101,69	Molde; duas primeiras voltas preenchidas pelo material escuro; assimetria bem evidente da última volta
CP4 18A	3	2,804	101,389	Molde; duas primeiras voltas preenchidas pelo material escuro; última volta muito mais larga que o restante
CP4 18A	3	1,795	117,694	Molde; duas primeiras voltas preenchidas pelo material escuro; última volta muito mais larga que o restante; formato um pouco mais arredondado na região apical
CP4 18A	4	1,245	90,045	Molde; as três primeiras voltas estão preenchidas pelo material escuro; formato cônico; última volta assimétrica
CP4 18A	4	3,914	91,27	Molde; primeiras três voltas preenchidas pelo material escuro; última volta bem assimétrica e mais larga; formato cônico
CP4 18A	4	3,258	97,243	Molde; três primeiras voltas preenchidas pelo material escuro; formato cônico
CP4 18A	4	2,269	102,158	Molde; primeira volta pouco preservada; segunda e terceira preenchidas pelo material escuro; última volta com assimetria evidente
CP4 18A	4	1,789	95,311	Molde; material escuro preenchendo completamente as duas primeiras voltas e parcialmente a terceira; última volta muito mais larga que as demais e evidente assimetria; formato cônico
CP4 18A	4	1,775	128,352	Molde; primeira volta completamente preenchida pelo material escuro e a segunda parcialmente; assimetria; formato mais arredondado
CP4 18A	4	2,591	101,765	Molde; três primeiras voltas preenchidas pelo material escuro; formato cônico
CP4 18A	3	2,655	100,034	Molde; as duas primeiras voltas encontram-se preenchidas pelo material escuro
CP4 18A	4	2,017	114,092	Molde; as duas primeiras voltas encontram-se completamente preenchidas pelo material escuro; formato mais arredondado, terceira e quarta volta apresentam evidente assimetria
CP4 18A	3	1,623	105,836	Molde; material escuro preenchendo as duas primeiras voltas; região apical pouco preservada
CP4 18A	3	1,96	88,79	Molde; as duas primeiras voltas estão preenchidas pelo material escuro; o molde apresenta-se levemente piritizado
CP4 18A	4	1,937	112,535	Molde; três primeiras voltas estão preenchidas pelo material escuro; molde levemente piritizado; última volta apresenta umas ranhuras
CP4 24	4	2,097	118,297	Molde; as voltas aparentam estar desconexas; grande assimetria nas duas últimas
CP4 41	4	3,266	98,015	Molde; as duas primeiras voltas encontram-se parcialmente preenchidas pelo material escuro; formato mais evidente da zona apical

CP4 34A	4	5,351	88,82	Molde; as voltas apresentam-se fragmentadas e levemente desconexas; aumento crescente de largura entre elas
CP4 40C	4	6,806	93,544	Molde; molde; as três primeiras voltas foram menos preservadas; apresenta um formato mais cônico
CP4 6	4	1,293	139,542	Molde; ranhuras evidentes na última volta, paralelas a linha de comprimento; formato mais arredondado, não fica evidente o ápice
CP4 6	3	1,73	117,3	Molde; formato mais arredondado da região apical
CP4 24	4	1,986	118,297	Molde; as voltas encontram-se deformadas; região apical pouco preservada e arredondada
CP4 41	5	3,109	110,125	Molde; primeira e segunda voltas preenchidas pelo material escuro; aparenta ter cinco voltas; região apical mais preservada
CP4 40A	3	2,758	110,996	Molde; região do ápice pouco preservada; última volta bem larga e assimétrica
CP4 40A	4	2,675	116,305	Molde; formato mais arredondado
CP4 35	3	2,625	80,8	Molde; primeiras duas voltas pouco preservadas; formato mais cônico na região do ápice; última volta muito mais larga que as demais e com assimetria menos evidente
CP4 37	3	0,734	70,948	Molde negativo; primeira volta apresenta uma coloração mais escura; formato apical mais evidente
CP4 38	3	1,654	117,232	Molde negativo; as duas primeiras voltas apresentam um preenchimento pelo material escuro enquanto que na última é parcial; região apical mais arredondada foi difícil medir o ângulo
CP4 39	3	2,556	105,826	Molde; pouco preservado; a metade do molde a esquerda apresenta uma coloração mais escura que a demais; última volta muito mais larga
CP4 40	3	1,481	86,493	Molde; as duas primeiras voltas são preenchidas pelo material escuro; última volta mais larga e assimétrica; formato mais cônico
CP4 41E	3	0,51	112,421	Molde; primeira volta preenchida parcialmente pelo material escuro; última volta mais larga, assimétrica e com ranhuras
CP4 41E	4	1,138		Molde negativo; primeira volta preenchida pelo material escuro; última volta com ranhuras
CP4 23	3	1,563	131,305	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro; região apical bem arredondada
CP4 24	3	1,585	143,048	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro; região apical bem arredondada
CP4 41Z	4	1,87	135,938	Molde; foi difícil conseguir medir o ângulo
CP4 41Z	4	1,771	120,675	Molde; pouco preservado, portanto impossibilitou de medir o ângulo apical
CP4 30	4	2,732	119,492	Molde; região apical bem arredondada, ranhuras mais evidentes na última volta
CP4 40E	5	4,999	78,957	Molde negativo; formado da região apical mais cônico

CP4 40E	4	5,481	88,636	Molde; região apical mais definida; terceira e quarta voltas com evidente assimetria (DIFERENTE)
CP4 39E	3	3,612	94,646	Molde negativo;
CP4 39E	3	4,137	128,544	Molde negativo; região apical mais arredondada
CP4 42M	3	2,414		Molde; região apical pouco evidente
CP4 42D	3	1,741		Molde negativo; região apical pouco evidente
CP4 40D	4	1,57	108,92	Molde negativo;
CP4 41Q	3	0,708	102,125	Molde; as duas primeiras voltas apresentam o material escuro; a última volta é bem mais larga que as demais
CP4 41Q	3	2,317	112,267	Molde; região apical mais arredondada
CP4 41Q	3	1,106	105,403	Molde; região apical mais evidente
CP4 41Q	4	2,818	89,325	Molde; aparenta ter quatro voltas; na terceira volta aparece o material de coloração escura
CP4 41Q	3	1,67	117,506	Molde; primeira volta apresenta uma coloração mais escura; e a região apical apresenta-se mais arredondada
CP4 41Q	4	1,943	124,877	Molde; região apical mais arredondada, mas evidente
CP4 41Q	4	3,473	95,855	Molde; até a terceira volta há evidências de preenchimento pelo material escuro; região apical evidente com formato mais cônico; última volta bem mais larga e assimétrica
CP4 41Q	4	3,722	106,816	Molde; primeira e terceira camada preenchida pelo material escuro; segunda volta pouco preservada; formato da região apical mais cônico
CP4 41Q	3	3,5	124,832	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro; formato mais arredondado
CP4 41Q	4	0,995	136,005	Molde; as duas primeiras camadas estão completamente preenchidas pelo material escuro, já a terceira, parcialmente; o formato da região de ápice da concha é bem mais arredondado
CP4 41Q	4	1,945	124,765	Molde negativo; última volta aparenta estar deformada; a primeira apresenta o material escuro ocorrendo de forma bem concentrada
CP4 41Q	4	2,579	108,622	Molde; terceira volta preenchida pelo material escuro; aparenta ter um formato cônico um pouco mais definido; última volta é bem mais larga que as demais e apresenta ranhuras
CP4 41Q	4	3,455	120,954	Molde negativo;
CP4 41Q	4	1,786	109,067	Molde; as duas primeiras voltas estão preenchidas pelo material escuro; formato do ápice da concha é pouco evidente
CP4 41Q	3	2,8	138,931	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro; formato arredondado, com o ápice da concha pouco preservado
CP4 41Q	4	2,292	131,535	Molde; material escuro concentrado muito pontualmente na primeira volta; última volta é muito mais larga que as demais

CP4 41Q	4	2,566	118,403	Molde; as duas primeiras voltas são preenchidas pelo material escuro; forma mais arredondada
CP4 41Q	3	1,857	131,087	Molde; as duas primeiras voltas apresentam uma coloração mais escura; a região apical foi muito pouco preservada
CP4 41Q	3	1,995		Molde; as duas primeiras voltas apresentam preenchimentos parciais pelo material escuro; o formato é bem arredondado
CP4 41Q	3	0,953	119,511	Molde; última volta bem mais larga que as demais; formato mais arredondado
CP4 41Q	4	1,354	110,801	Molde; na primeira volta o material escuro aparece bem pontualmente; ápice da concha aparece mais evidente
CP4 41Q	3	1,336	102,593	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro; última volta é muito maior que as demais
CP4 41Q	4	1,518	94,593	Molde; material escuro aparecendo na primeira e terceira volta; última volta muito mais larga que as demais e apresenta grande assimetria
CP4 41Q	4	1,145		Molde; as duas primeiras voltas apresentam uma coloração mais escura; o formato da região apical é pouco evidente e mais arredondado
CP4 8	4	1,965		Molde negativo; não foi possível medir o ângulo
CP4 8	3	1,573	136,12	Molde negativo; região apical pouco preservada
CP4 8	4	2,917	108,768	Molde; todo o molde é coberto por um material de brilho metálico; voltas com aumento crescente
CP4 8	3	3,846	113,382	Molde; as duas últimas voltas apresentam em sua superfície o material de brilho metálico; grande assimetria
CP4 8	3	2,898	111,134	Molde; a última volta é bem maior que as demais
CP4 21	4	1,634	105,036	Molde; voltas aumentam de forma crescente de largura
CP4 21	3	4,227		Molde; não foi possível medir o ângulo; a primeira volta apresenta o material escuro
CP4 21	3	1,156	116,732	Molde; piritização na primeira volta
CP4 21	3	0,768		Molde negativo; não foi possível medir o ângulo
CP4 21	3	1,39	102,9	Molde; não foi possível medir o ângulo; coloração mais escura na primeira volta
CP4 21	4	0,783	108,879	Molde; não foi possível medir o ângulo; as duas primeiras voltas são preenchidas pelo material escuro
CP4 21	4	1,151	113,199	Molde negativo;
CP4 41J	3	0,823		Molde; não foi possível medir o ângulo
CP4 41J	4	1,578	116,938	Molde; última volta é muito maior que as demais e apresenta evidente assimetria
CP4 41J	3	1,85	137,847	Molde; foi difícil conseguir medir o ângulo, pois a região apical não está bem preservada
CP4 41P	3	2,366	120,86	Molde negativo; última volta é bem mais larga e assimétrica que as demais

CP4 41P		1,109	95,139	Molde; posição diferente
CP4 41B	3	2,646	126,266	Molde; as duas primeiras voltas são preenchidas pelo material escuro
CP4 41B	4	1,277	116,237	Molde; a segunda volta apresenta piritização; aumento crescente das voltas, sendo a última a mais larga e assimétrica
CP4 14	4	1,793	110,848	Molde; assimetria nas duas últimas voltas; aumento crescente das voltas
CP4 14	3	1,906	129,163	Molde; primeira volta apresenta o material escuro
CP4 14	4	1,644	118,392	Molde; material escuro na segunda e terceira volta
CP4 41L	3	1,004	144,83	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro
CP4 41L	3	1,5	134,311	Molde; as duas primeiras voltas são completamente preenchidas pelo material escuro
CP4 41L	3	1,498	124,378	Molde negativo; a primeira volta é completamente preenchida pelo material escuro; as voltas apresentam-se deformadas
CP4 41L	3	1,335	130,761	Molde; as duas primeiras voltas são preenchidas pelo material escuro; a região apical não foi preservada
CP4 41L	4	0,745	132,791	Molde; primeira volta apresenta o material escuro
CP4 41L	3	1,274	136,051	Molde; as duas primeiras voltas são completamente preenchidas pelo material escuro; o formato é mais redondo (ponta não é bem definida); a última volta possui uma assimetria bem evidente
CP4 41L	3	0,989		Molde; as duas últimas voltas são bem largas
CP4 41A	4	2,995	124,633	Molde; última volta muito maior que as demais
CP4 41A	3	3,015		Molde; região apical pouco preservada e preenchida pelo material escuro, aparece também parcialmente na segunda volta
CP4 41A	3	1,383		Molde; região apical pouco desenvolvida; última volta mais larga que as demais
CP4 41A	3	1,132		Molde; região apical pouco definida
CP4 41A	3	0,973		Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro; levemente piritizado
CP4 41A	3	0,753		Molde; na primeira volta aparece o material escuro
CP4 41A	3	0,913		Molde; a primeira volta apresenta o material escuro
CP4 41A	3	1,898		Molde negativo; levemente piritizado?
CP4 41A	3	2,02	125,115	Molde; a região apical está pouco definida e é preenchida pelo material escuro
CP4 41A	3	0,976		Molde; região apical pouco definida; apresenta uma coloração mais escura na primeira volta
CP4 41A	4	4,329	108,9	Molde; as duas primeiras voltas apresentam uma coloração mais escura e apresenta cristais recristalizados de calcita; o molde é coberto pela piritização
CP4 41A	4	4,297		Molde negativo; piritização parcial

CP4 41A	4	3,434	114,679	Molde; parcialmente piritizado; entre as voltas e no contorno do molde há cristais recristalizados de calcita; na primeira volta há um pouco do material de coloração escura
CP4 41A	4	3,701		Molde; nas três primeiras voltas apresenta o material de coloração escura, mas ocorre piritização por quase toda a superfície do molde; há recristalização de calcita
CP4 41A	4	5,087		Molde; na primeira volta há o material escuro; nas voltas há cristais recristalizados de calcita
CP4 41A	4	3,334		Molde negativo; a terceira volta é preenchida pelo material escuro; as duas primeiras por recristalização de minerais de calcita
CP4 41A	4	2,994		Molde; nas duas primeiras voltas a cristais recristalizados de calcita
CP4 41A	4	3,712	126,225	Molde; na primeira volta há a presença do material escuro
CP4 41A	3	1,393		Molde; nas duas primeiras voltas há piritização; a última volta é mais larga que as demais
CP4 41A	3	1,382		Molde; as duas primeiras voltas apresentam o material de coloração escura
CP4 41A	4	2,719	105,678	Molde; nas três primeiras voltas há cristais recristalizados de calcita; na terceira volta ainda a o material de coloração escura
CP4 41A	3	3,02	119,831	Molde; na primeira é preenchido pelo material escuro
CP4 41A	4	2,862		Molde; as três primeiras voltas apresentam cristais recristalizados de calcita
CP4 41A	4	2,857	96,562	Molde; as duas primeiras voltas estão preenchidas por cristais recristalizados de calcita
CP4 41A	3	2,391		Molde; nas três voltas há cristais recristalizados de calcita
CP4 41A	3	2,437		Molde; a primeira volta é preenchida commaterial escuro; parcialmente piritizado
CP4 41A	4	2,294	113,383	Molde; as duas primeiras voltas encontram-se preenchidas pelo material escuro; há piritização na superfície de todo o molde
CP4 41A	4	1,598	127,12	Molde; as três primeiras voltas apresentam cristais recristalizados; piritização parcial
CP4 41A	4	1,736		Molde; região apical pouco evidente; recristalização de cristais de calcita; piritização parcial
CP4 41A	3	3,092		Molde;
CP4 41A	4	2,389	98,276	Molde; nas três primeiras voltas há presenças domaterial escuro; no decorrer de todo o molde há cristais recristalizados de calcita
CP4 41A	3	3,187	130,702	Molde; piritização em partes pontuais do molde
CP4 41A	3	3,328	113,342	Molde; a última volta apresenta uma coloração escura e cristais de recristalização de calcita

CP4 41A	3	1,714		Molde; a região apical está pouco definida e é preenchida pelo material escuro; formato mais arredondado
CP4 41A	4	3,108	137,392	Molde; presença de material escuro nas primeiras voltas; presença de cristais recristalizados de calcita; região apical pouco definida
CP4 41A	4	3,212	140,025	Molde; piritização; cristais recristalizados de calcita
CP4 41A	4	2,919		Molde negativo;
CP4 41A	4	2,796	101,533	Molde; piritização; cristais recristalizados de calcita
CP4 41A	3	3,196		Molde negativo; as duas primeiras voltas apresentam material escuro
CP4 41A	3	1,254		Molde; a primeira volta é preenchida pelo material escuro
CP4 41A	3	0,79		Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro; parcialmente piritizado
CP4 41A	3	2,004	130,838	Molde; piritização
CP4 41A	3	1,745	134,304	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro
CP4 41A	3	1,065	125,89	Molde;
CP4 41A	3	0,877	113,552	Molde; a primeira volta é preenchida pelo material escuro
CP4 41A	3	2,033	126,333	Molde; piritizado?; primeira volta prrenchida pelo material escuro
CP4 41A	3	0,687		Molde; piritizado; primeira volta preenchida com material escuro
CP4 41A	3	2,148	128,619	Molde; primeira volta apresenta material escuro
CP4 41A	3	1,102		Molde;
CP4 41A	3	1,806	119,584	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro; piritização?
CP4 41A	3	1,049		Molde;
CP4 41A	4	1,952	103,498	Molde; as três primeiras voltas apresentam o material escuro; piritização?
CP4 41A	4	1,982	99,946	Molde; as duas primeiras voltas apresentam o material escuro; região apical mais bem definida
CP4 41A	3	0,96	111,58	Molde; piritização?
CP4 41A	3	2,543	114,692	Molde; primeira volta preenchida pelo material escuro
CP4 41A	3	1,159	132,117	Molde; as duas primeiras voltas apresentam o material escuro
CP4 41A	3	0,612		Molde; as duas primeiras voltas apresentam o material escuro
CP4 41A	3	0,915	141,733	Molde;
CP4 41A	4	2,616	87,828	Molde; a primeira volta apresenta o material escuro; piritização na segunda volta
CP4 41A	3	1,367	105,123	Molde; a primeira volta apresenta uma coloração escura

CP4 41A	3	2,18		Molde; as duas primeiras voltas são preenchidas pelo material escuro; região apical pouco evidente
CP4 41A	3	1,969	104,27	Molde negativo;
CP4 41A	4	2,91	116,194	Molde; região apical pouco evidente
CP4 41A	4	1,009	125,208	Molde;
CP4 41A	3	0,688	105,068	Molde; na segunda volta apresenta uma coloração mais escura
CP4 41A	3	2,114	131,79	Molde; as duas primeiras voltas apresentam um material escuro; região apical pouco evidente
CP4 41A	3	1,293	106,02	Molde; as duas primeiras voltas apresentam o material escuro; piritização?
CP4 41A	3	1,164	125,968	Molde negativo
CP4 41A	4	1,37	110,224	Molde; as duas primeiras voltas são preenchidas pelo material escuro; região apical pouco evidente
CP4 41A	4	3,152	103,378	Molde; região apical mais evidente; última volta bem mais larga que as demais
CP4 41A	3	2,109	140,937	Molde; região apical pouco evidente, piritização?
CP4 41A	3	1,867	134,804	Molde; região apical pouco evidente
CP4 41A	3	0,89	140,536	Molde; as duas primeiras voltas apresentam-se parcialmente cobertas pelo material escuro
CP4 41A	3	2,229	115,436	Molde; segunda volta completamente preenchida pelo material escuro; última volta maior e assimétrica
CP4 41A	3	1,785		Molde; região apical pouco evidente

Observações:	Foi difícil medir os ângulos apicais, pois em nenhum dos moldes a região do ápice apresenta-se tão evidente, dificultando, portanto, a delimitação da área a ser medida ou pelo molde apresentar uma inclinação em relação ao acamamento. Por isso, a tabela apresenta diversas lacunas para esse parâmetro
	A tabela não consta todos os exemplares de gastrópodes presentes nas amostras, mas foram selecionados os que apresentam o maior eixo paralelo ao acamamento

ANEXO B – Número de espécimes de moldes de gastrópodes por amostra

Amostra	Número de Gastrópodes
CP4 41A	71
CP4 41I	5
CP4 41H	11
CP4 41G	1
CP4 41F	16
CP4 41M	36
CP4 41E	6
CP4 41J	16
CP4 38N	0
CP4 41Z	11
CP4 21	14
CP4 23	6
CP4 37	9
CP4 41Y	4
CP4 41	0
CP4 38L	7
CP4 14	13
CP4 41D	34
CP4 41B	17
CP4 41C	15
CP4 18C	4
CP4 4	17
CP4 41O	0
CP4 7	9
CP4 15	1
CP4 41K	5
CP4 41P	2
CP4 1	0
CP4 41R	4
CP4 18B	70
CP4 18A	35
CP4 41Q	106
CP4 11	25
CP4 9	0
CP4 41L	1
CP4 38J	0
CP4 38K	0
CP4 41N	3
CP4 38M	1
CP4 38G	0
CP4 38C	1
CP4 38B	0
CP4 41T	0
CP4 41X	0

CP4 38S	1
CP4 38V	0
CP4 41*	3
CP4 38H	0
CP4 13	0
CP4 38D	0
CP4 38A	0
CP4 38E	0
CP4 38O	4
CP4 38I	0
CP4 32	0
CP4 41V	0
CP4 31	77
CP4 5	0
CP4 40 E*	5
CP4 42 F	0
CP4 39 B	1
CP4 42 B	0
CP4 43 A	0
CP4 25	2
CP4 39H	0
CP4 43B	0
CP4 39 C	9
CP4 40 K	0
CP4 3 B	0
CP4 43 A	0
CP4 43 D	0
CP4 39 A	0
CP4 3 D	0
CP4 40 J	0
CP4 42 K	1
CP4 3 A	0
CP4 39 D	6
CP4 40 F	0
CP4 19	0
CP4 42 N	8
CP4 16	0
CP4 24	3
CP4 10	0
CP4 42J	1
CP4 28A	0
CP4 26	10
CP4 40A	5
CP4 34A	3
CP4 40C	1
CP4 35	5
CP4 19	0

CP4 6	7
CP4 30	3
CP4 40E	4
CP4 39E	6
CP4 22	0
CP4 42L	0
CP4 39I	0
CP4 42H	0
CP4 42E	0
CP4 42M	13
CP4 42D	1
CP4 42A	2
CP4 40D	0
CP4 43D	0
CP4 42P	0
CP4 42C	0
CP4 40G	2
CP4 12	1
CP4 40I	0
CP4 40H	1
CP4 39F	2
CP4 43C	0
CP4 42Q	0
CP4 42O	0
CP4 39H	0
CP4 20	0
CP4 34B	0
CP4 43F	0
CP4 43E	1
CP4 36	0
CP4 42G	0
CP4 3C	0
CP4 40B	4
CP4 40K	1
CP4 40J	0
CP4 39A	2
CP4 42B	0
CP4 3B	0
CP4 43D	1
CP4 3A	0
CP4 3D	0
CP4 43A	0
CP4 39B	0
CP4 42K	1
CP4 8	13
CP4 2	5
CP4 27	0

CP4 42I	0
CP4 17	0
TOTAL	791