



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 609

**BIOESTRATIGRAFIA E PALEOECOLOGIA DOS
DEPÓSITOS MARINHOS PENNSILVANIANOS DA
FORMAÇÃO PIAUÍ A PARTIR DE NOVAS OCORRÊNCIAS
DE CONODONTES**

Dissertação apresentada por:

SANMYA KAROLYNE RODRIGUES DIAS

Orientador: Prof. Dr. Joelson Lima Soares (UFPA)

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Karina Scomazzon (UFRGS)

**BELÉM- PARÁ
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D541b Dias, Sanmya Karolyne Rodrigues.
Bioestratigrafia e paleoecologia dos depósitos marinhos
Pensilvanianos da Formação Piauí a partir de novas ocorrências de
conodontes / Sanmya Karolyne Rodrigues Dias. — 2021.
x, 52 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Joelson Lima Soares
Coorientação: Prof^a. Dra. Ana Karina Scmazzon
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia
e Geoquímica, Belém, 2021.

1. Conodontes. 2. Pensilvaniano. 3. Bacia do Parnaíba. 4.
Formação Piauí. I. Título.

CDD 560.47



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**BIOESTRATIGRAFIA E PALEOECOLOGIA DOS
DEPÓSITOS MARINHOS PENNSILVANIANOS DA
FORMAÇÃO PIAUÍ A PARTIR DE NOVAS OCORRÊNCIAS
DE CONODONTES**

Dissertação apresentada por:


SANMYA KAROLYNE RODRIGUES DIAS

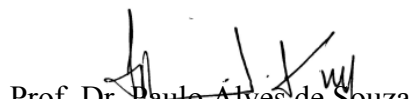
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA, Linha de Pesquisa em Análise de Bacias Sedimentares.**

Data de Aprovação: 08 / 08 / 2021

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Joelson Lima Soares
(Orientador – UFPA)


Prof.ª Dr.ª Anna Andressá E. Nogueira
(Membro – PNPd-UFPA)


Prof. Dr. Paulo Alves de Souza
(Membro – UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Escrever esta dissertação em plena pandemia foi um dos maiores desafios profissionais e pessoais que já enfrentei, e certamente não teria sido possível se não fosse pelo apoio de tantos e claro, pela proteção e cuidado divino.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade da realização desse mestrado.

Ao CNPq (Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela concessão da bolsa, indispensável para a realização e conclusão deste trabalho.

Agradeço a Deus, aos meus anjos de guarda, aos Orixás, que me permitiram estar aqui com saúde, que me sustentaram em muitos momentos de agonia, ansiedade e incertezas, que me deram forças e muita luz nesse caminho.

Aos meus pais, Marcyra e Dilermando, que foram companheiros de muitas lutas para que eu pudesse estar aqui e principalmente por serem responsáveis pela mulher e pela pessoa que eu sou hoje. Agradeço por todo suporte, motivação e por se fazerem presentes apesar da distância.

À minha avó Halime, meu pote de chamego e teimosia; à minha avó Adélia, pelo carinho e cuidado; ao meu avô (*in memoriam*), meu Bombom, que foi muito importante e marcante na minha história, dedico mais este trabalho a ele. Aos meus primos, Halyme, Gabriel e Amandinha, sempre muito presentes na minha vida, que compartilharam de tantos momentos e de tantas fases das nossas vidas e agora mais essa.

À Vó Vera, dona Glaucia, às tias e primos Ramos, à família do meu companheiro e também minha família, que me acolheu e deu suporte, sempre com muito amor, carinho e boa vontade.

Ao meu companheiro, Vitor Hugo, por todo amor, apoio, cuidado, carinho e companhia diariamente. Por ter embarcado nessa e por estar comigo de mãos dadas em batalhas que só nós conhecemos.

Ao meu orientador, Joelson Soares, pelas oportunidades, pelo tempo e dedicação, desde a minha iniciação científica.

À minha co-orientadora, minha mãe científica, sempre professora e amiga, Ana Karina, que me ensinou muita das coisas que hoje eu sei, que lutou comigo e também por mim, principalmente para tornar esse trabalho possível em meio à essa pandemia. Agradeço por toda dedicação, preocupação, paciência e cuidado.

Aos amigos que fiz na UFRGS, do LACONF, Luísa, Jojo, Amanda, Andrés e Felipe. Um agradecimento especial à Sarinha, que ajudou de diversas maneiras ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pelos momentos de risadas, de distração, e também pelo mutirão na catação dos conodontes.

Aos amigos do GSED, em especial ao Renato, pela colaboração no trabalho de campo, pelo apoio, ideias e suporte; ao Pedro também pelo suporte e apoio ao longo desta caminhada. Aos professores da UFPA e também da UFRGS, por serem fundamentais na minha formação como pesquisadora.

Aos vizinhos e amigos que fiz em Porto Alegre e que, em muitos momentos, foram minha família.

RESUMO

Conodontes são vertebrados primitivos utilizados mundialmente para o refinamento de idade dos estratos marinhos e para correlacionar sequências sedimentares ao longo do Paleozoico e Triássico. Dentre as bacias intracratônicas brasileiras que apresentam o registro do desenvolvimento de mares epicontinentais no Gondwana Ocidental, a Bacia do Parnaíba apresenta evidências desta invasão marinha nas sequências carbonáticas do Membro Superior da Formação Piauí, em particular na sequência fossilífera do Carbonato Mocambo, de idade pensilvaniana. O estudo do conteúdo paleontológico dessas rochas carbonáticas fornece a oportunidade de entender a perspectiva paleoecológica e paleoambiental da sucessão, além de possibilitar o refinamento bioestratigráfico utilizando fósseis guias como os conodontes. A descrição das espécies de conodontes, seguida da classificação taxonômica, permite o refinamento biocronoestratigráfico e inferências das condições paleoecológicas da área de estudo, a partir da comparação dessas ocorrências com biozonas estabelecidas para o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas e de áreas clássicas como América do Norte, Rússia e China. A fauna de conodontes aqui descrita inclui três espécies distintas - *Diplognathodus orphanus*, *Idiognathodus incurvus* e *Adetognathus lautus* - registradas nos afloramentos do Carbonato Mocambo, porção marinha da Formação Piauí, na região do município de José de Freitas (PI) e sugerem uma idade bashkiriana superior para a sequência. Dessas três espécies, registra-se aqui a ocorrência inédita de *Diplognathodus orphanus*, um excelente marcador bioestratigráfico do Atokano. A ocorrência desses táxons juntamente com megásporos, ostracodes, foraminíferos bentônicos e dentes de peixe, corrobora com um paleoambiente de plataforma marinha rasa. Estes dados possibilitam correlacionar o Carbonato Mocambo com a seção marinha da Bacia do Amazonas, permitindo a correlação da porção marinha da Formação Piauí, Bacia do Parnaíba, com o mar epicontinental transgressivo-regressivo Itaituba-Piauí no Noroeste da América do Sul, Gondwana Ocidental, durante o Paleozoico superior.

Palavras-chave: conodontes; Pensilvaniano; Bacia do Parnaíba; Formação Piauí; Gondwana Ocidental.

ABSTRACT

Conodonts are primitive vertebrates useful along the Paleozoic and Triassic all over the world to establish age and marine environment facies and to correlate these sedimentary sequences. Among intracratonic Brazilian basins, the Parnaíba Basin presents evidence of the record of this marine invasion in the Pennsylvanian carbonate sequences in the Upper Member of the Piauí Formation, particularly the fossiliferous Mocambo Carbonate sequence. The study of the paleontological content of these carbonate rocks is significant for the understanding of the paleoecological and paleoenvironmental perspective of the succession, and for its biostratigraphic refinement, in the case of fossil guides such as conodont. The description of the conodont species allowed the taxonomic classification, biochronostratigraphical refinement and inferences of paleoecologic conditions of the study area from comparisons of this occurrence with biozones established for Pennsylvanian of Amazonas Basin and from classic areas such as North America, Russia and China. The conodonts fauna includes three distinct species - *Diplognathodus orphanus*, *Idiognathodus incurvus* and *Adetognathus lautus* - registered in Mocambo Carbonate outcrops, marine portion of the Piauí Formation, in José de Freitas (PI) region and suggesting a late Bashkirian age for the sequence. Of these three species, the inedited occurrence of *Diplognathodus orphanus*, an excellent biostratigraphic marker of Atokan, are registered here. The occurrence of these taxa together with megaspore, ostracods, benthic foraminifers and teeth fish, suggest a paleoenvironment of very shallow marine platform. These data make possible to correlate Mocambo Carbonate with the marine section of the Amazonas Basin, allowing the correlation of the Piauí marine portion of Parnaíba Basin with the transgressive-regressive epicontinental Itaituba-Piauí Sea in Northwest South America, Western Gondwana, during the late Paleozoic.

Key-words: conodont; Pennsylvanian; Parnaíba Basin; Piauí Formation; Western Gondwana.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

- Figura 1. Localização da área de estudo na região de José de Freitas, com indicação das principais localidades, rodovias e afloramentos estudados..... 2
- Figura 2. Etapas da metodologia. A) Amostras desagregadas fisicamente B) Balde plástico onde amostras são armazenadas. C) Amostras com ácido acético, inseridas na capela de exaustão. D) Peneiras e baldes utilizados para a lavagem do material. E) Lavagem do material com retenção do resíduo líquido em um recipiente para posterior descarte adequado. F) Armazenamento do material lavado em cápsulas de porcelana..... 3
- Figura 3. A) Estereomicroscópio utilizado para catação. B) Stubs onde são alocados os elementos conodontes. B) Microscópio eletrônica de varredura (Laboratório de Geologia Isotópica - LGI -UFRGS) 4

CAPÍTULO 2

- Figura 4. Mapa Geológico da Bacia do Parnaíba. Fonte: Modificado de Abrantes *et al.* (2016)..... 6
- Figura 5. Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba. Fonte: Vaz *et al.* (2007)..... 8
- Figura 6. a) Ilustração do animal conodonte. b) Anatomia do animal com destaque para principais estruturas. Fonte: Aldridge *et al.* (1993) 11
- Figura 7. Grupos dos elementos conodontes. a) Ramiformes. b) Cônicos. c) Pectiniformes (plataformados). d) Pectiniformes (laminados). Fonte: Acervo LACONF. 12
- Figura 8. Aparelho conodonte da Ordem Ozarkodinida, com sua orientação e nomenclatura. Fonte: Purnell *et al.* (2000), com modificações de Armstrong & Brasier (2005)..... 13
- Figura 9. Posição P, M e S dos elementos conodontes no aparelho alimentar. Fonte: Sweet (1988) com modificações de Purnell *et al.* (2000)..... 14

CAPÍTULO 3

- Figure 1. Geologic map of part of Parnaíba Basin, in the José de Freitas region, including the location of Piauí Formation with studied outcrops MO 01, MO 02, MO 09..... 17
- Figure 2. A - C. Photographs of Mocambo Carbonate layer in the Icarai Mining outcrop MO-09, emphasis for MO-09-02C and MO-09-12C samples with the most important conodont occurrences. D. Sketch of the outcrop main section. Red arrows indicate sample level position. E. Lithostratigraphic section, that shows the conodont elements occurrences in the MO-09-01, MO-09-02, MO-09-04, MO-09-05, MO-09-09 and MO-09-12 layers..... 21
- Figure 3. Conodont elements collected in the Mocambo Carbonate, MO-09 Icarai Mining, Piauí Formation, Parnaíba Basin. A, B) *Diplognathodus orphanus* (Merrill, 1973). Adult elements. MO-09-02C. C) *Diplognathodus orphanus* (Merrill, 1973). Juvenile element. MO-09-02C. D, E) *Idiognathodus incurvus* Dunn, 1966. Adult elements. MO-09-02C. F) *Idiognathodus incurvus* Dunn, 1966. Juvenile element. MO-09-02C. G) M element. MO-09-02C. H) M element. MO-09-04B. I) *Adetognathus lautus* Gunnell, 1933. Adult element. MO-09-12C. Scale bar 50um..... 25
- Figure 4. Correlation of Pennsylvanian international subdivisions and North American regional nomenclature (Modified from Aretz et al., 2020) 27
- Figure 5. Stratigraphic distribution of conodonts identified. A) Occurrence of *Diplognathodus orphanus* in Amazonas Basin (1), North American (2) and South China (3) biozones. B) Occurrence of *Idiognathodus incurvus* in Amazonas Basin (1), North American Midcontinent (2) and Europe (3) biozones. C) Occurrence of *Adetognathus lautus* in Amazonas Basin (1), North America (2) and Ukraine (3) biozones. Emphasis on asterisk (red transversal line) to mundial stratigraphic distribution for each species..... 32
- Figure 6. Mundial occurrence of studied species in this paper and in Medeiros (2020) with emphasis (yellow) to the age estimation for Carbonate Mocambo..... 33

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 ÁREA DE ESTUDO.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS	3
CAPÍTULO 2	5
2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	5
2.1.1 Bacia do Parnaíba	5
2.1.2 Grupo Balsas	8
2.1.3 Formação Piauí	9
2.2 CONODONTES.....	11
2.2.1 Aspectos Gerais	11
CAPÍTULO 3	15
3.1 RESULTADOS.....	15
CAPÍTULO 4	47
4.1 CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS	48

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Expressivas acumulações carbonáticas são registradas em várias regiões do mundo e estão geralmente associadas à instalação de mares epicontinentais em regiões de baixa latitude (Opdyke & Wilkinson 1993, Edinger *et al.* 2002, Immenhauser 2009). Na América do Sul durante o intervalo Carbonífero-Permiano, enquanto a porção sul do Pangeia experimentava condições climáticas mais frias à glaciais, a porção mais tropical deste supercontinente estava sob condições de clima mais quente (Koch & Frank 2011, Boucout *et al.* 2013, Torsvik & Cocks 2013, Moutinho *et al.* 2016, Mottin *et al.* 2018). Baseado em reconstruções paleogeográficas deste período, a Bacia do Parnaíba registrava a presença de um mar epicontinental que desaguava no Oceano Panthalassa (Scotese & McKerrow 1990, Torsvik & Cocks 2013). Eventos transgressivos ligados a esse mar resultaram na construção de depósitos carbonáticos de plataforma, registrados nos estratos transgressivos da Bacia do Parnaíba, especialmente nas sucessões carbonáticas-siliciclásticas dos depósitos Mocambo da Formação Piauí (Medeiros *et al.* 2019).

O estudo do conteúdo paleontológico dessas rochas é significativo para o entendimento da perspectiva paleoecológica e paleoambiental da sucessão, e para seu refinamento bioestratigráfico, no caso de fósseis guias. A ocorrência de microfósseis na sequência do Carbonato de Mocambo foi analisada por Campanha & Rocha Campos (1979) e Anelli (1994, 1999) que, baseados em uma assembleia de foraminíferos, conodontes, braquiópodes e moluscos, interpretaram um ambiente marinho com águas quentes e rasas, e atribuíram à sequência uma idade morrowana-desmoinesiana. No entanto, observa-se que fósseis guias como os conodontes podem adicionar contribuições para a bioestratigrafia, devido à sua resolução temporal mais significativa para este período dentro da sucessão.

Dessa forma, e considerando a importância dos microfósseis conodontes como excelentes fósseis guias e ótimos indicadores bioestratigráficos e paleoecológicos do Paleozoico e Triássico (Sweet & Donoghue 2001, Scmazzon *et al.* 2016), esta dissertação se propôs a realizar uma análise mais aprofundada da sua ocorrência no Membro Superior da Formação Piauí, bem como a análise de novas ocorrências, para assim, discuti-las biocronoestratigraficamente e estimar as condições paleoecológicas e paleoambientais desse extenso mar epicontinental (Medeiros *et al.* 2020).

1.2 ÁREA DE ESTUDO

A análise dessas novas ocorrências se deu aos arredores da cidade de José de Freitas (PI), onde se encontram afloradas as sucessões siliciclásticas-carbonáticas do Membro Superior da Formação Piauí. A área de estudo encontra-se ao norte do Estado do Piauí, localizado a 48 km de distância de Teresina, capital do estado (Fig. 1). Os afloramentos se constituem de duas exposições das frentes de lavras da Mineradora Icaraí, localizada nas coordenadas S04° 68,026' W042° 72,913' e um afloramento na Fazenda Mocambo, nas coordenadas S04° 53,683' W042° 35,820'.

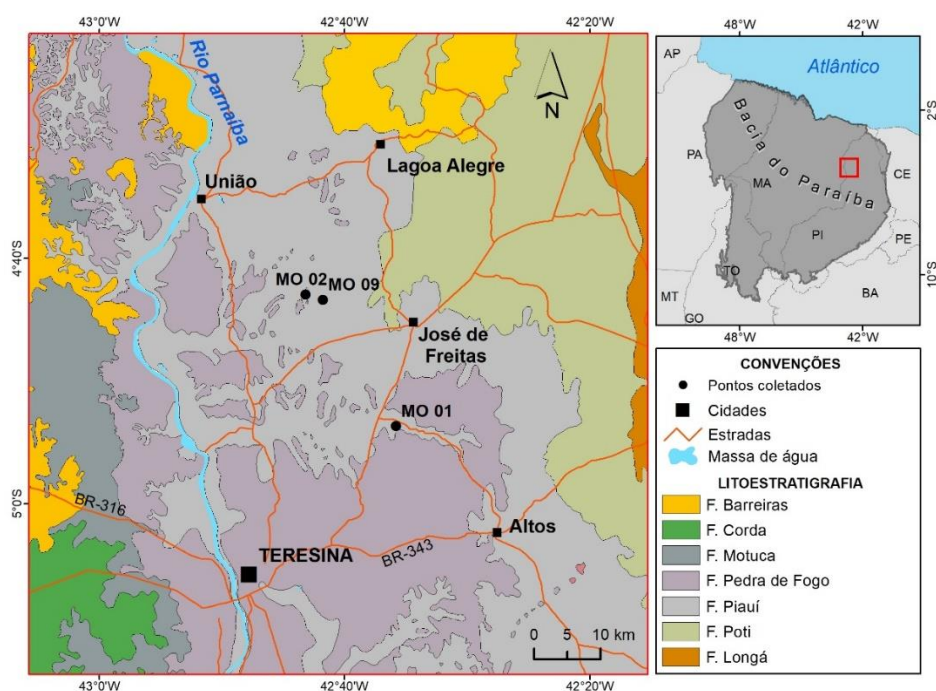


Figura 1- Localização da área de estudo na região de José de Freitas, com indicação das principais localidades, rodovias e afloramentos estudados.

1.3 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo realizar a análise da ocorrência de conodontes na sucessão sedimentar marinha pensilvaniana da Bacia do Parnaíba na região de José de Freitas (PI), determinando seu posicionamento bioestratigráfico e as condições paleoecológicas do mar epicontinental. Estes objetivos se cumprem a partir de objetivos específicos tais como a identificação e classificação taxonômica dos microfósseis conodontes e a comparação dessas ocorrências com biozonas de áreas clássicas, regionais como a Bacia do Amazonas e internacionais como o *Midcontinent* na América do Norte e Europa Oriental.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados incluem vinte e oito amostras entre rochas carbonáticas e folhelhos que foram processadas para a obtenção de conodontes. Destas, vinte e duas amostras foram coletadas nos afloramentos MO-02 e MO-09 na Mineradora Icarai, e seis coletadas no afloramento MO-01 na Fazenda Mocambo. O material foi coletado em trabalho de campo realizado em 2019 na região do município de José de Freitas (PI). As amostras foram tratadas conforme a metodologia de Scomazzon (2004), que consiste na fragmentação mecânica do material seguido de dissolução química. O material foi pesado em aproximadamente 500g por amostra e mecanicamente desagregado em tamanhos de 2 cm. As rochas carbonáticas e os folhelhos foram colocados em baldes de plástico com capacidade para 2L onde foram adicionados 90% de água e os outros 10% de reagente-ácido acético para os carbonatos e peróxido de hidrogênio para folhelhos. A mistura foi deixada em reação em capela de exaustão por dez dias para os carbonatos e aproximadamente quinze minutos para os folhelhos. Os carbonatos foram agitados uma vez por dia para ionização ácida e dissolução completa. Ao final desta etapa, o material foi lavado e descartado em um balde em tanque específico utilizando peneira de 80 *mesh* (0,177mm) e 200 *mesh* (0,074). O sedimento contido na peneira foi armazenado em cápsulas de porcelana que seguem para estufa a 60° C. O resíduo sólido foi armazenado e as amostras que resultaram positivo para conodontes, tiveram seus resíduos sólidos reprocessados. O resíduo líquido da lavagem é armazenado e enviado para o descarte. (Fig. 2).



Figura 2- Etapas do método. A) Amostras desagregadas fisicamente. B) Balde plástico onde amostras são armazenadas. C) Amostras com ácido acético, inseridas na capela de exaustão. D) Peneiras e baldes utilizados para a lavagem do material. E) Lavagem do material com retenção do resíduo líquido em um recipiente para posterior descarte adequado. F) Armazenamento do material lavado em cápsulas de porcelana.

Depois de seca, as amostras foram armazenadas em potes específicos e analisadas com pincel em uma bandeja sob estereomicroscópio para catação de conodontes. Outros bioclastos associados e fragmentos relevantes também são catados e todos os materiais são acondicionados em células de catação. Os conodontes coletados foram alocados em *stubs* e fotografados no MEV- Microscópio Eletrônico de Varredura (LGI/UFRGS) para obtenção de imagens retro espelhadas, a fim de realçar características diagnósticas importantes e assim realizar a classificação taxonômica (Fig. 3). Os espécimes estudados foram armazenados no repositório do Laboratório de Conodontes e Foraminíferos (LACONF) do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

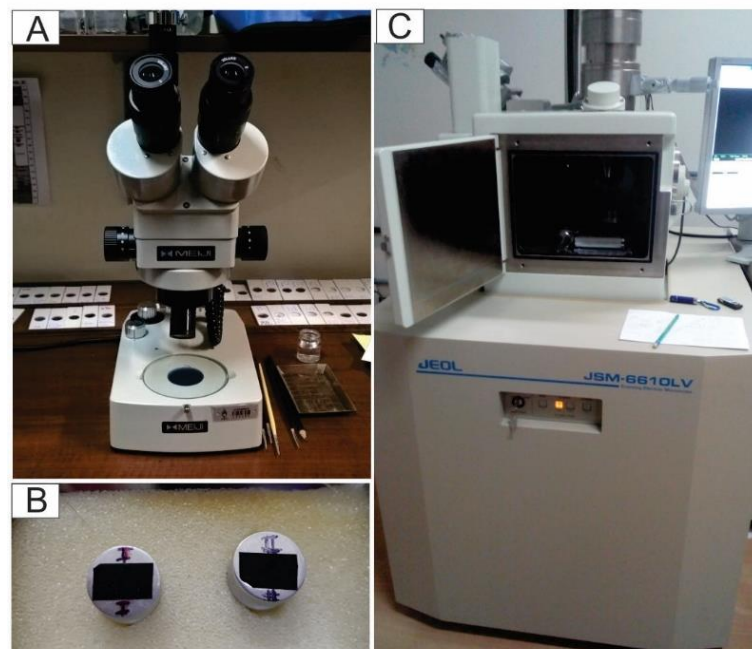


Figura 3- A) Estereomicroscópio utilizado para catação (Laboratório de Conodontes e Foraminíferos LACONF). B) *Stubs* onde são alocados os elementos conodontes. C) Microscópio eletrônica de varredura (Laboratório de Geologia Isotópica - LGI -UFRGS).

CAPÍTULO 2

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1.1 Bacia do Parnaíba

A Bacia do Parnaíba é uma bacia sedimentar intracratônica, inserida no leste da Plataforma Sul-americana e localizada na porção noroeste do nordeste brasileiro, onde ocupa uma área de 600.000 km², com depocentro atingindo espessura total de cerca de 3.500 m (Góes & Feijó 1994, Vaz *et al.* 2007) (Fig. 4). A área de ocorrência da bacia abrange os estados do Maranhão, Piauí e parte dos estados de Tocantins, Pará e Ceará, nos quais encontram-se sedimentos depositados do Ordoviciano ao Neógeno, além de rochas intrusivas e extrusivas, relacionados a eventos magmáticos de idades triássica-jurássica e eocretácea (Goés *et al.* 1990, De Min *et al.* 2003).

A bacia é limitada estruturalmente pelo Arco de Tocantins a noroeste, que a separa das bacias do Marajó e Amazonas; limitada a sul pelo Arco de São Francisco, que a separa da Bacia do São Francisco; e limitada a norte pelo Arco Ferrer-Urbano Santos, que a separa das bacias cretáceas costeiras de São Luiz e Barreirinhas na margem equatorial (Vaz *et al.* 2007). Grandes estruturas crustais de mergulho abrupto ao lado e abaixo da Bacia do Parnaíba foram mapeadas em escala crustal por Daly *et al.* (2014) e identificadas como a Zona de Falha Araguaína no limite com o Craton Amazônico, à margem oeste da bacia, e a Sutura Transbrasileira no limite leste entre a bacia e a Província Borborema (Daly *et al.* 2018). O embasamento sedimentar da bacia é representado pela Formação Riachão e pelo Grupo Jaibaras, o primeiro de idade proterozoica média ou superior e o segundo de idade cambro-ordoviciano, ambos com gênese relacionada às atividades finais do Ciclo Brasileiro (Goés & Feijó 1994, Oliveira & Mohriak 2003, Vaz *et al.* 2007).

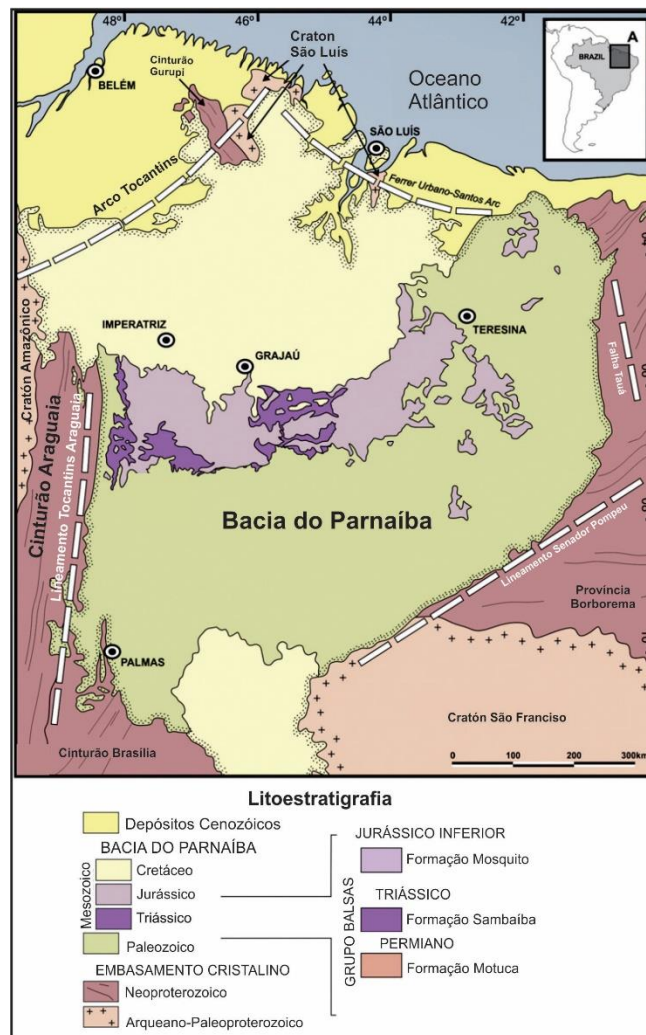


Figura 4- Mapa Geológico da Bacia do Parnaíba. Fonte: Modificado de Abrantes *et al.* (2016).

O embasamento pré-cambriano é composto por uma série de segmentos crustais que são o resultado do processo de aglutinação no Neoproterozoico-Eopaleozoico do Gondwana Ocidental, com a colagem dos crátons Amazônico, São Luís/ África Ocidental e São Francisco/Congo (Castro *et al.* 2014). Após o término do Ciclo Brasileiro (Cambriano – Ordoviciano), dois complexos sistemas de *rifts* eopaleozoicos se formaram na fase inicial de deposição da bacia (Castro *et al.* 2014). Através de subsidência termomecânica, os grábens foram preenchidos durante o progressivo afundamento que ocorreu ao longo das faixas tectonicamente instáveis a partir do final do Ordoviciano (Caputo & Lima 1984). A fase de subsidência da bacia parece ter cessado no final do Triássico, conforme registrado através do reconhecimento de fácies que se tornam cada vez mais continentais ao longo do Permiano e do Triássico (Ianuzzi *et al.* 2018).

Ao longo da história de subsidência da bacia, as margens ficaram periodicamente ativas e as faixas periféricas foram fortemente deformadas e metamorfoseadas durante a

orogenia Brasileiro-Pan Africana, especialmente nas bordas oeste e sudeste da bacia, com limites crustais significativos relacionados possivelmente à colisão continental (Daly *et al.* 2014). Esses limites são coincidentes com as principais tendências estruturais representadas por grandes zonas de cisalhamento de orientação N-S e NE nas províncias de Tocantins e Borborema, respectivamente (Castro *et al.* 2014).

Dois principais eventos de intrusões ígneas mesozoicas de um manto geoquimicamente enriquecido, formados imediatamente antes e após a formação da megasequência cratônica da bacia, são registrados no Jurássico e Cretáceo (Daly *et al.* 2018). Esses eventos estariam relacionados aos esforços da ruptura do megacontinente Pangea e os consequentes processos distensionais, estabelecendo um estágio tectônico de ativação que levaria à abertura do Oceano Atlântico e que foi responsável pela remobilização de falhas antigas, surgimento de fraturas e intenso magmatismo básico (Milani & Thomaz Filho 2000; Pedreira da Silva *et al.* 2003). Na Bacia do Parnaíba, o magmatismo básico consistiu na acomodação de rochas ígneas intrusivas (diques e soleiras) e extrusivas, divididas estratigraficamente em Formação Mosquito e Formação Sardinha que constituem a Província Magmática do Atlântico Central (De Min *et al.* 2003, Oliveira *et al.* 2018, Silva *et al.* 2020). A Formação Mosquito corresponde a grandes derrames basálticos e grandes soleiras, com intercalações de arenitos, enquanto a Formação Sardinha, corresponde a diques basálticos e pequenas soleiras (Aguiar 1971).

A influência das variações do nível mar foi muito importante no controle deposicional da bacia durante o Paleozoico e, juntamente com as ascensões epirogênicas, foram utilizadas para definir os limites entre sequências e supersequências (Della Fávera 1990, Caputo *et al.* 2006, Vaz *et al.* 2007). Della Fávera (1990) identificou, a partir de interpretações estratigráficas, três sequências deposicionais do Neopaleozoico: Sequência Devoniana, que representa plataformas marinhas de tempestade; Sequência Devoniano-Mississipiana, com primeiro intervalo regressivo correspondente à Formação Longá inferior e segundo intervalo regressivo, ao topo da Formação Longá e à porção basal da Formação Poti; e Sequência Mississipiana, que corresponde ao topo da Formação Poti, representando um sistema transgressivo com lobos sigmoidais deltaicos e tempestíticos. Posteriormente, Vaz *et al.* (2007) estabeleceram a sucessão de rochas sedimentares e magmáticas da Bacia do Parnaíba em cinco supersequências delimitadas por discordâncias definidas a partir da eustasia, fator principal no controle dos ciclos transgressivos-regressivos. Essas supersequências são organizadas da base para o topo

como Supersequência Siluriana (Grupo Serra Grande); Supersequência Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé); Supersequência Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas); Supersequência Jurássica (Formação Pastos Bons) e Supersequência Cretácea (formações Codó, Grajaú, Corda e Itapecuru).

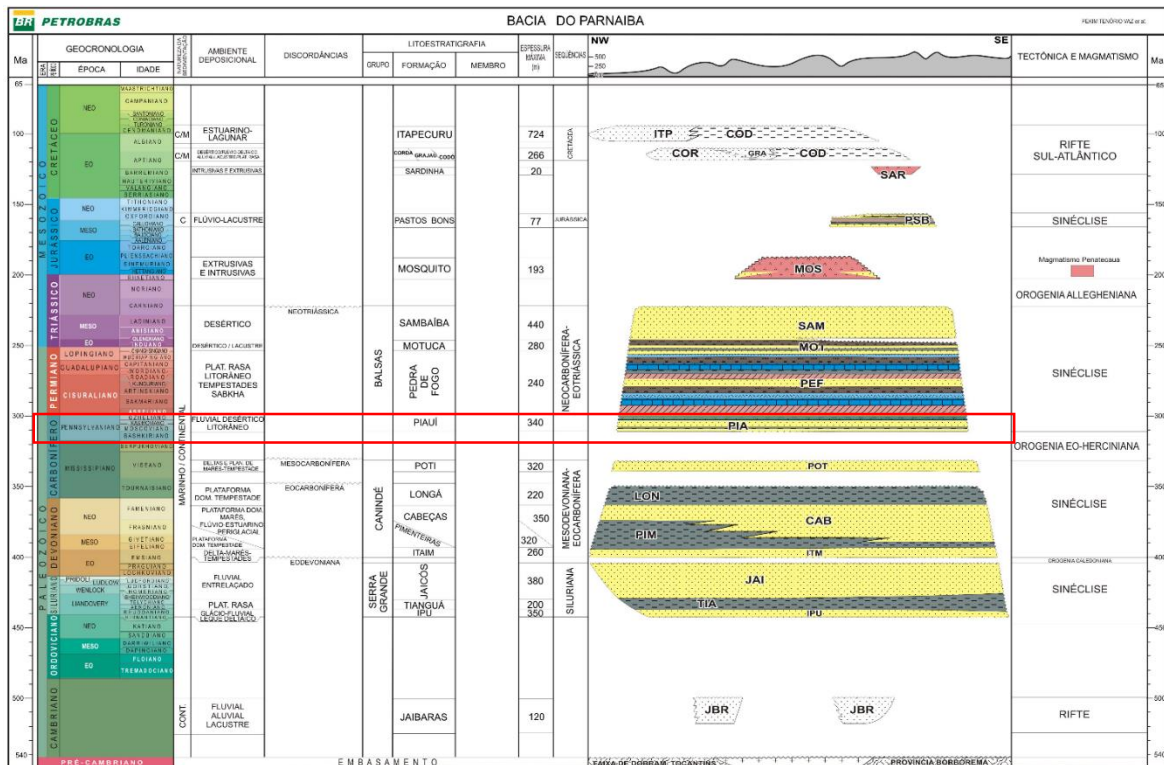


Figura 5- Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba. Em destaque a Formação Piauí, onde estão preservados os conodontes objeto de estudo desta dissertação. Fonte: Vaz *et al.* (2007).

2.1.2 Grupo Balsas

A Supersequência Neocarbonífera-Eotriássica referente ao Grupo Balsas é constituído, da base para o topo, pelas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba (Góes & Feijó 1994). Localiza-se, essencialmente na região centro-sul, e em partes das regiões oeste e leste-nordeste da bacia e ocorre discordantemente sobreposta ao Grupo Canindé, geralmente associada a processos erosivos durante à Orogenia Eo-herciniana (Vaz *et al.* 2007). Caputo *et al.* (2006) contestam esta interpretação baseados na distância de onde se desenvolveu essa orogenia- entre a região sul da Europa e leste dos Estados Unidos com o norte e nordeste da África- da Bacia do Parnaíba e nas características estratigráficas e estruturais desta sequência, como a ausência de discordâncias angulares e presença de inúmeras camadas de calcários pensilvanianos. O contato superior desta supersequência se dá de forma discordante com os derrames

básicos da Formação Mosquito, do Grupo Mearim, que apresenta os reflexos da fragmentação dos continentes Pangea e Gondwana (Góes & Feijó 1994, Caputo *et al.* 2006).

Este grupo representa um ciclo transgressivo-regressivo, desenvolvido sob condições de mar raso e restrito, com sedimentação controlada por condições de forte aridez, responsáveis pela deposição evaporítica e pela implantação de desertos (Goés & Feijó 1994, Abrantes *et al.* 2016, 2019, Araújo *et al.* 2016). O paleoambiente desenvolvido nesta supersequência vai de clástico-evaporítico de mar raso a um paleoambiente lacustre (Vaz *et al.* 2007, Abrantes *et al.* 2016, 2019, Araújo *et al.* 2016, Medeiros *et al.* 2019).

2.1.3 Formação Piauí

A Formação Piauí está distribuída nas porções leste e sul da Bacia do Parnaíba (Anelli *et al.* 2006), e apresenta uma espessura máxima de 364m (Aguiar 1971). O limite inferior da formação é marcado por uma discordância erosiva com os arenitos e siltitos da Formação Poti (pertencente ao Grupo Canindé), enquanto o limite superior é concordante com o sílex basal da Formação Pedra de Fogo (Lima & Leite 1978).

A deposição dessa formação se deu sob condições gerais áridas, com contribuição eólica num extenso deserto interior, associado a uma plataforma marinha evaporítica ligada a breves incursões (Lima & Leite 1978, Lima Filho 1991, Abrantes *et al.* 2016, 2019, Araújo *et al.* 2016, Medeiros *et al.* 2019).

A partir da caracterização e interpretação das fácies e ambientes de sedimentação da Formação Piauí, Lima Filho (1991) identificou os seguintes sistemas deposicionais na unidade: eólico, lacustre, evaporítico, deltaico, marinho (plataforma carbonática) e fluvial. Esses sistemas encontram-se dispostos em membros, subdivididos por Mesner & Wooldridge (1964), em Inferior e Superior. O Membro Inferior é caracterizado por condições semi-áridas e desérticas, onde se encontram as camadas mais arenosas compostas por arenitos rosas, médios, maciços ou com estratificação cruzada de grande porte, além de intercalações de folhelhos vermelhos. No Membro Superior ocorrem registros de condições desérticas com incursões marinhas, com arenitos vermelhos, amarelos, finos a médios, contendo intercalações de folhelhos vermelhos, calcários e finas camadas de sílex (Mesner & Wooldridge 1964, Lima & Leite 1978).

Nos calcários fossilíferos da parte superior desta unidade é encontrada uma variada fauna de invertebrados marinhos, constituída especialmente de gastrópodes, cefalópodes, braquiópodes, trilobitas, crinoides, conodontes e foraminíferos, que indicam deposição em ambientes marinhos de águas rasas (Campanha & Rocha Campos 1979, Anelli 1999, Anelli *et al.* 2006, Anelli *et al.* 2009). No nordeste da Bacia do Parnaíba, ao norte de Teresina, esses calcários são interpretados por Lima Filho (1991) como sedimentos de plataforma carbonática ou lagunar, retrabalhados em partes por ondas de tempestade. Essas camadas documentam um período de elevação do nível do mar e transgressão curta marginal, com o desenvolvimento de uma grande plataforma de carbonato e evaporito, originada no final da deposição da Formação Piauí (Lima Filho 1991, 1998, Anelli 1994, 1999, Lima Filho & Anelli 1997).

Dentre esses carbonatos, destaca-se a sequência carbonática Mocambo, que ocorre na região de José de Freitas (PI) e que se encaixa nesse contexto como o registro de uma pequena incursão marinha no continente Gondwana (Lima Filho 1998, Medeiros *et al.* 2019). A ocorrência de microfósseis nessa sequência carbonática e em outras da mesma região foi analisada por Campanha & Rocha Campos (1979), que, a partir da microfauna de conodontes, atribuíram uma idade morrowana- desmoinesiana para a sequência.

2.2 CONODONTES

2.2.1 Aspectos Gerais

Os animais conodontes foram um grupo de vertebrados primitivos sem mandíbula, com distribuição estratigráfica do Cambriano superior ao Triássico superior. Eles foram os primeiros vertebrados a produzirem partes mineralizadas e são conhecidos principalmente pelos elementos individuais que formam seu aparelho alimentar (Armstrong & Brasier 2005). Por muito tempo apenas essas partes mineralizadas do animal eram conhecidas, uma vez que são mais fáceis de serem preservadas no registro devido sua composição de fosfato de cálcio, mais especificamente francolita (Pietzner *et al.* 1968).

A partir do primeiro achado de espécimes completamente preservados do Carbonífero inferior de uma região próxima a Edinburgh, Escócia por Briggs *et al.* (1983), o conhecimento sobre os animais conodontes teve um enorme avanço. A excelente preservação do material permitiu registrar que esse animal possuía uma forma de enguia com aproximadamente 4 cm de tamanho, simetria bilateral, lobo cefálico com a presença de grandes olhos e do aparelho alimentar, além de um tronco com notocordas, miômeros e uma nadadeira caudal. Essas características anatômicas detalhadas indicaram uma afinidade deste grupo com os Cordados (Aldridge *et al.* 1986, 1993a) (Fig. 6).

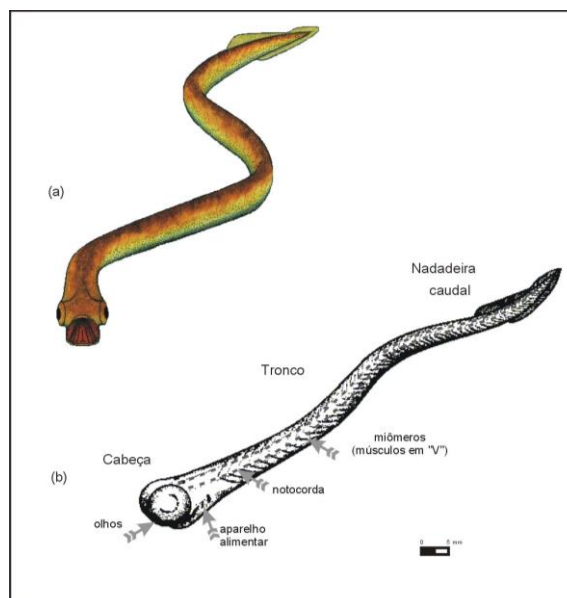


Figura 6- a) Ilustração do animal conodonte. b) Anatomia do animal com destaque para principais estruturas. Fonte: Aldridge *et al.* (1993) (b).

Os elementos conodontes são amplamente utilizados na bioestratigrafia de diversas bacias paleozoicas devido à sua rápida variação morfológica ao longo do tempo,

ampla distribuição geográfica, boa preservação no registro e fácil identificação. Existem três grupos principais de elementos conodontes, com relação à sua morfologia externa: os coniformes, ramiformes e pectiniformes (Clark *et al.* 1981) (Fig. 7). Os coniformes são conhecidos como cones simples e, por serem as primeiras formas, são as mais simples; formadas por um único denticulo, surgem no Cambriano superior e se extinguem no Devoniano. Os ramiformes são formados por uma cúspide principal com uma fileira de denticulos fusionados, surgem no Devoniano e se extinguem no Triássico. Os pectiniformes são o grupo mais importante para a bioestratigrafia, devido a uma série de características diagnósticas são os mais diferenciados, o que torna mais fácil a identificação a nível de espécie; esses elementos são divididos em laminados e plataformados (Robison 1981), também surgem no Devoniano e sobrevivem até o Triássico.

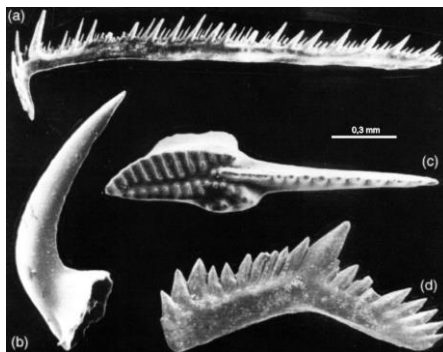


Figura 7- Grupos dos elementos conodontes. a) Ramiformes. b) Cônicos. c) Pectiniformes (plataformados). d) Pectiniformes (laminados). Fonte: Laboratório de Conodontes e Foraminíferos da UFRGS - LACONF.

Como mencionado anteriormente, os elementos conodontes formavam o aparelho alimentar do animal, e podem ser aparelhos unimembrados e multimembrados, esses últimos incluem elementos de várias categorias de diferentes formas (Sweet 1988). Com a finalidade de facilitar a comparação e o entendimento desses elementos em diferentes animais conodontes, uma terminologia para a morfologia dos elementos nos aparelhos alimentares multimembrados foi designada utilizando o grupo com as melhores evidências de orientação. Purnell *et al.* (2000) utilizam das evidências estudadas na Ordem Ozarkodinida em Briggs *et al.* (1983), Aldridge *et al.* (1986, 1993) e Purnell & Donoghue (1997, 1998), a qual possui um registro fóssil do aparelho alimentar com as diferentes orientações dos elementos conodontes muito bem preservadas *in situ*, e fornece um resumo gráfico dessa terminologia (Fig. 8). Essas terminologias são relacionadas à posição dos elementos conodontes no aparelho alimentar, na região

cefálica do animal e inclui os termos "rostral" e "caudal" para designar os segmentos da frente e de trás, respectivamente; "dorsal" relativo à parte posterior e "ventral" relativo à parte anterior; "sinistral" e "dextral" para esquerda e direita. Os aparelhos são descritos utilizando como símbolos as letras P, M e S de Sweet (1988), que caracterizam a posição dos elementos no aparelho alimentar. Os elementos S encontram-se dispostos ao longo do eixo médio-lateral, com simetria bilateral, no domínio rostral, associado a um par de elementos M numa posição dorso-lateral; já no domínio caudal estão dispostos até quatro pares de elementos P orientados dorso-ventralmente (Fig. 9). Dentro desses grupos, as posições são identificadas por subscritos numéricos (Pn-Sn) em Purnell *et al.* (2000), onde as posições P são numeradas na direção caudal a rostral e as posições S numeradas do eixo médio para as laterais.

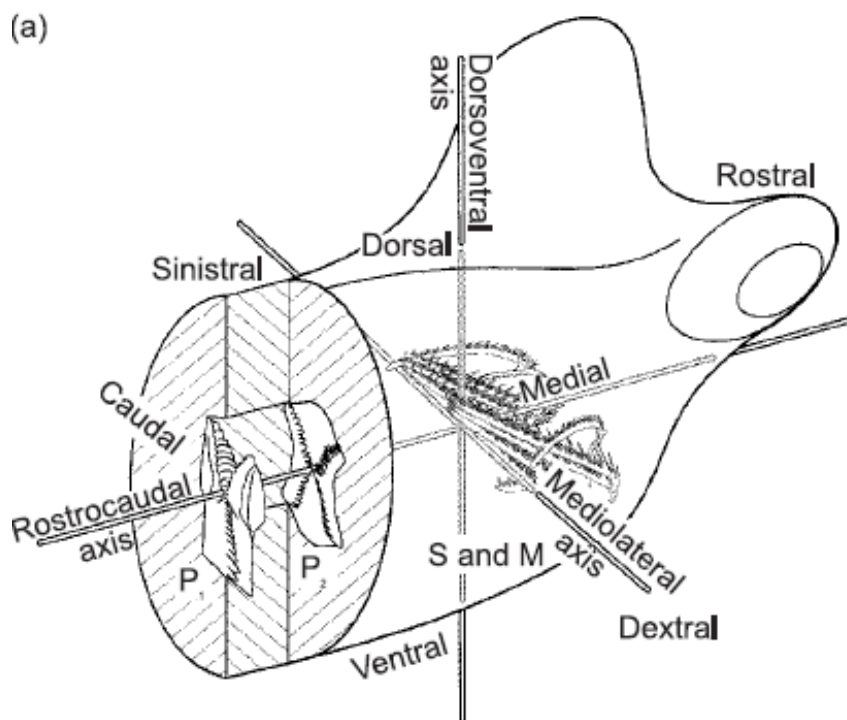


Figura 8- Aparelho alimentar de conodonte da Ordem Ozarkodinida, com sua orientação e nomenclatura. Fonte: Purnell *et al.* (2000), com modificações de Armstrong & Brasier (2005).

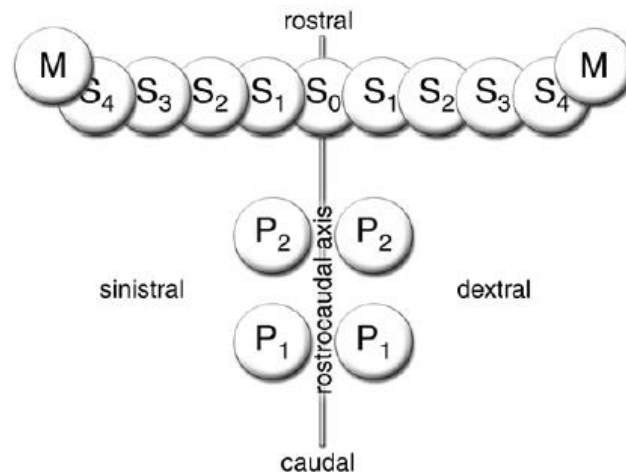


Figura 9- Posição P, M e S dos elementos conodontes no aparelho alimentar. Fonte: Sweet (1988) com modificações de Purnell *et al.* (2000).

Devido à resistência dos elementos de seu aparelho alimentar orofaríngeo, os conodontes têm o melhor registro fóssil entre os vertebrados e são um clado importante dos primeiros vertebrados (Purnell & Jones 2012). Esses elementos são conhecidos por apresentar um desgaste superficial e danos gerados durante a vida do animal. A análise desses padrões de desgaste e de danos fornece evidências diretas sobre a funcionalidade desses elementos, sobre ecologia e também sobre padrões de mudança evolutiva mediados pela dieta.

Purnell (1995) documentou padrões de desgaste que fornecem evidências diretas de que os elementos funcionavam como dentes. Purnell & Donoghue (1998) descrevem a modelagem funcional da arquitetura do aparelho da Ordem Ozarkodinida e interpretam que esses elementos teriam uma função de agarrar e processar o alimento para o animal. Os elementos S e M capturavam o alimento, que era triturado e esmagado pelos elementos P. Assim, por eles terem a capacidade de capturar organismos vivos, provavelmente pequenos invertebrados e plâncton marinho, os conodontes são considerados macrófagos (Armstrong & Brasier 2005).

1 **CAPÍTULO 3**

2 **3.1 RESULTADOS**

3 Artigo submetido em: *Journal of South American Earth Science*

4

5 **Taxonomic revision of conodonts of Piauí Formation, Parnaíba Basin,** 6 **updating to late Bashkirian age and biostratigraphic – paleoecology correlation with** 7 **the Itaituba Formation, Amazonas Basin**

8 Sanmya Karolyne Rodrigues Dias¹, Joelson Lima Soares¹, Ana Karina
9 Scomazzon², Renato Sol Paiva de Medeiros¹, Sara Nascimento²

10 ¹Universidade Federal do Pará, Avenida Augusto Corrêa s/n, CEP, 66075-110,
11 Belém, PA, Brazil; ²Universidade Federal Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves,
12 9500, Prédio 43127, sala 211; 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil

13 **Abstract**

14 This study was performed with conodonts of the Mocambo Carbonate, marine
15 portion of the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Northeast Brazil, West Gondwana. The
16 goal is to update the conodont fauna, refine the biostratigraphic and paleoecological data
17 of that marine portion, according to new findings of conodonts. The description of the
18 conodont species allowed the taxonomic classification, chronostratigraphical refinement
19 and inferences of paleoecologic conditions of the study area. The fauna of conodonts
20 includes three distinct species - *Diplognathodus orphanus*, *Idiognathodus incurvus* and
21 *Adetognathus lautus*, suggesting a late Bashkirian age. The occurrence of adults and
22 juvenile conodonts of *Diplognathodus orphanus* and *Idiognathodus incurvus* also with
23 fern sporangia, ostracods, benthic foraminifers and teeth fish, suggest a paleoenvironment
24 of a very shallow marine platform of neritic tidal facies. The Mocambo Carbonate is
25 traditionally recognized as Pennsylvanian and with this conodont contribution is being
26 refined to late Bashkirian. Paleoecologically, this sequence is interpreted as marine very
27 shallow facies. We also correlate the marine carbonate sequence of the Piauí Formation,
28 Parnaíba Basin, with the marine shallow waters of Itaituba Formation, Amazonas Basin.
29 This is well-positioned with international biozones from North America, China and
30 Europe, allowing the correlation of the Piauí marine portion with the transgressive-
31 regressive epicontinental Itaituba-Piauí Sea in Northwest South America, Western
32 Gondwana, during the Late Paleozoic.

33 **Key-words:** Conodont, Pennsylvanian, Parnaíba Basin, Piauí Formation, Western
34 Gondwana

35 **1 Introduction**

36 The Late Paleozoic includes strata controlled by sea-level fluctuations with
37 repeated flooding and exposition of broad stretches of epeiric shelves (Kabanov et al.,
38 2010), where Pennsylvanian occurrences highlight as in Medeiros et al. (2019). This
39 period was one of the notable glacioeustatic fluctuations that recurrently generated
40 extensive transgressions and regressions on epicontinental shelves (Veevers and Powell,
41 1987; Heckel, 2002). During the Pennsylvanian, the climate in northern Gondwana was
42 dry and hot (Boucot et al., 2013), favoring extensive carbonate deposition associated with
43 the epicontinental seas, registered in the Parnaíba, Amazonas, Solimões, Madre de Dios,
44 Ucayali, and Marañon basins (Becker, 2005; Limarino and Spalletti, 2006; Medeiros et
45 al., 2019; Silva, 2019).

46 The record of the development of these epeiric seas in the central part of Western
47 Gondwana is found mainly in the Paleozoic section of the Amazonas Basin in the north-
48 northwest region of Brazil (Matsuda, 2010; Lima, 2010; Scomazzon et al., 2016). Among
49 intracratonic Brazilian basins, the Parnaíba Basin presents evidence of the record of this
50 marine invasion in the Pennsylvanian carbonate sequences in the Upper Member of the
51 Piauí Formation, particularly in the fossiliferous Mocambo Carbonate sequence (Lima
52 Filho, 1991; Medeiros et al., 2019). The study of the paleontological content of these
53 carbonatic rocks is significant for the understanding of the paleoecological and
54 paleoenvironmental perspective of the succession, and also for its biostratigraphic
55 refinement, in the case of fossil guides such as conodonts. The occurrence of these
56 microfossils in the Mocambo Carbonate sequence was first analyzed in two nearby
57 localities, temporally correlated by Campanha and Rocha Campos (1979). Were
58 identified by the authors *Idiognathodus magnificus*, *Idiognathodus delicatus*,
59 *Cavusgnathus lautus*, *Cavusgnathus gigantus*, *Cavusgnathus sp.*, *Ozarkodina delicatula*,
60 *Gnathodus bassleri* and *Euprioniodin* fragments, that suggested an Morrowan-
61 Desmoinesian age to the sequence. However, the taxonomic classification of these
62 microfossils is herein being revised due the nomenclature update, and new conodont
63 taxon occurrences, adding contributions to biostratigraphy of this succession.

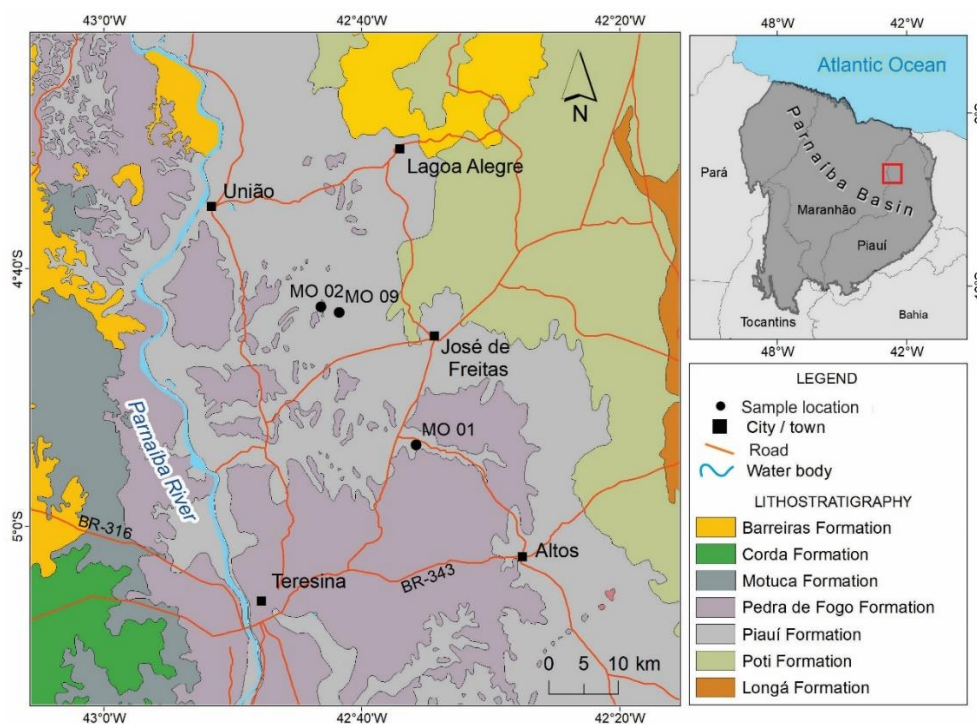
64 The aim of this paper is to refine age estimations with the revision and inclusion
65 of new conodont taxon. Featuring the paleoecology of this siliciclastic- carbonatic
66 succession based on conodont data and associated fauna of outcrops from Icarai Mining
67 and Mocambo Farm of Mocambo Carbonate. Thus, this article provides a contribution to

68 biostratigraphy and a correlation attempt with the Itaituba Formation, based on the
69 conodonts association and associated fauna.

70

71 2 Geologic setting

72 The Parnaíba Basin is located in the north-northeast Brazil (Fig. 1), occupying an
73 area of 600,000 km² within the states of Maranhão, Piauí, and part of Tocantins, Pará and
74 Ceará. The basin is bound to the northwest by the Tocantins Arch, which separates it from
75 the Marajó and Amazonas basins. To the south, the basin is separated from the São
76 Francisco Basin by the São Francisco Arch, and to the north, it is separated from the
77 coastal Cretaceous basin of São Luiz and Barreirinhas by Ferrer-Urbano Santos Arch
78 (Vaz et al., 2007). Parnaíba Basin basin developed on a continental basement during the
79 stabilization of the South American Platform stage and its origin is probably associated
80 with deformations and final thermal deformation, and post-orogenic stages of the
81 Brasiliano Cycle (Góes and Feijó, 1994; Oliveira and Mohriak, 2003).



82

83 Figure 1. Geologic map of part of Parnaíba Basin, in the José de Freitas region,
84 including the location of Piauí Formation with studied outcrops MO 01, MO 02, MO 09.

85 The sedimentary succession is 3,500 m thick in its depocenter and the sequence
86 of sedimentary and magmatic rocks divided into five supersequences bounded by
87 unconformities. These supersequences formed in Silurian, Middle Devonian-Early
88 Carboniferous, Late Carboniferous-Early Triassic, Jurassic, and Cretaceous, due to

89 eustatic that sea-level changes (Vaz et al., 2007), which is the main factor in the control
90 of transgressive-regressive cycles during the Paleozoic along with epirogenic ascent
91 (Della Fávera, 1990; Caputo et al., 2005; Vaz et al., 2007).

92 The Late Carboniferous-Early Triassic supersequence is represented by the Balsas
93 Group, which is composed of Piauí, Pedra de Fogo, Motuca and Sambaíba formations
94 (Vaz et al. 2007). This group represents a transgressive-regressive cycle, developed under
95 shallow and restricted sea conditions, with sedimentation controlled by intensely arid
96 conditions, responsible for evaporitic deposition and deserts (Abrantes et al. 2019, 2016,
97 Góes and Feijó 1994; Araújo *et al.* 2016).

98 The Piauí Formation has a maximum thickness of 364 m (Aguiar 1971) and occurs
99 in the eastern and southern portions of the Parnaíba Basin. The deposition of this
100 formation occurred under arid conditions, with eolian influence in the extensive interior
101 desert, associated with an evaporitic marine platform with brief marine incursions
102 (Abrantes et al. 2019, 2016, Lima Filho 1991, Medeiros et al. 2019; Lima and Leite 1978,
103 Araújo et al. 2016). Mesner and Wooldridge (1964) divided this formation into Lower
104 and Upper members, the Lower Member is characterized by semi-arid and desertic
105 conditions with the sandy layers, interbedded with red pelite, and the Upper Member
106 desertic conditions with marine incursions in sandy layers interbedded with pelite and
107 carbonate layers.

108 In the carbonate layers of the Upper Member, occurs a varied fauna of marine
109 invertebrates composed of gastropods, mollusks, trilobites, crinoids, foraminifers, and
110 conodonts, which indicates deposition in shallow water marine environment (Anelli et
111 al., 2009; Anelli, 1999; Anelli et al., 2006; Campanha and Rocha Campos, 1979). These
112 layers reflect sea level rise and short marginal transgression, with the development of
113 carbonate and evaporite platform at the end of Piauí Formation deposition (Lima Filho,
114 1998; Medeiros et al., 2019). The Mocambo carbonate sequence is observed on the
115 Mocambo Farm and the Icarai Mining, represented respectively by MO-01 and MO-
116 02/MO-09 outcrops (Fig. 1). The Mocambo carbonate sequence in the José de Freitas
117 region is the focus of this paper.

118

119 **3 Conodonts taxonomic review of Parnaíba Basin**

120 Campanha and Rocha-Campos (1979) was the first study about the
121 micropaleontological content of the Piauí Formation and diverse authors still use their

122 data as reference. However, the taxonomy of conodonts is outdated and this paper
123 proposed a review of this nomenclature to facilitate further research.

124 The microfossils found in this precursor study include arenaceous and calcareous
125 foraminifera, conodonts, ostracods, bryozoans, crinoid columnals, holoturoid sclerites,
126 echinoid spines, microgastropods, microbivalves, scolecodonts, sponge spicules, plates,
127 teeth, bones and otoliths fish, and plant fragments. Four outcrops were studied in this
128 paper: Mocambo Farm, Contendas Farm, Meruoca Farm (the three located in José de
129 Freitas region, state of Piauí) and an outcrop in Marabá, state of Pará.

130 Conodonts were found only on the outcrops of Mocambo Farm and Contendas
131 Farm, both in the José de Freitas region, state of Piauí. The conodont assemblage includes:
132 *Idiognathodus magnificus*, *Idiognathodus delicatus*, *Cavusgnathus lautus*, *Cavusgnathus*
133 *gigantus*, *Cavusgnathus* sp., *Ozarkodina delicatula*, *Gnathodus bassleri* and
134 *Euprioniodina* fragments. These microfossils indicate an eo-mesopensilvanian age for the
135 sequence and a paleoenvironment of shallow and warm waters.

136 Related to the conodonts identified by Campanha and Rocha-Campos (1979),
137 *Idiognathodus magnificus* and *Idiognathodus delicatus* are classified in this paper as
138 *Idiognathodus incurvus* because small variations in morphological characteristics that
139 corresponds to the morphotype models according to Dunn (1966), Grayson et al. (1989),
140 Scomazzon (1999) and Nascimento (2008). Another question is that these morphological
141 variations could be related to different generations of the same conodont animal. The
142 morphological diversity in *Idiognathodus* for Pennsylvanian is relatively high and the
143 morphological transitions has been discussed and compared in areas such as North
144 American Midcontinent, Moscow and Donets basins (Barrick et al, 2013), but all these
145 discussions for this Parnaíba Basin sequence requires a larger amount of data and
146 specimens.

147 Concerning to *Cavusgnathus*, *Gnathodus* and *Ozarkodina* genus identified in
148 Campanha and Rocha-Campos (1979), a replacement by the corresponding and most
149 update nomenclature in the literature is suggested. *Cavusgnathus* and *Gnathodus* were
150 first described by Harris and Hollingsworth (1933). Lane (1967) redescribed
151 *Cavusgnathus* to *Adetognathus* and (Dunn, 1970) redescribed *Gnathodus* to
152 *Neognathodus*. Relative to *Cavusgnathus* genus, *Cavusgnathus gigantus* species is
153 classified in this paper as *Adetognathodus lautus* believing that this species is part of a
154 morphotype of *A. lautus* (Brown et al., 1991), which only differs from the latter one to be

155 a left form. *Ozarkodina* was described by Brason and Mehl (1933) and is synonym with
156 *Hindeodella*.

157 The genus *Hindeodella* may be related by its general characteristics with ramiform
158 elements of *Hindeodus* present in Amazonas Basin. The species identified as
159 *Euprioniodina* may be related to *Ellisonia conflexa* of Nascimento et al. (2010).
160 *Ozarkodina delicatula* may be related by its general characteristics with *Idioprioniodus*
161 of Scomazzon (2004) and Nascimento et al. (2010).

162

163 **4 Materials and methods**

164 The three outcrops studied (Fig. 1), 28 samples of carbonates and shales were
165 collected and processed for conodonts, where 6 samples came from MO-01 outcrop at
166 Mocambo Farm, 20 came from MO-09 outcrop and 2 came from MO-02, both in Icaraí
167 Mining (Table 1). The material was collected in September 2019 fieldwork, near José de
168 Freitas town, state of Piauí, in the Upper Member of the Piauí Formation.

169 Samples were prepared according to the processing methodology of the
170 Laboratório de Conodontes e Foraminíferos – LACONF/ UFRGS, involving mechanical
171 fragmentation and chemical dissolution. Sample residues were analyzed in
172 stereomicroscope for conodonts and associated fauna picking. Collected conodonts were
173 imaged in SEM – Scanning Electron Microscope - LGI/UFRGS, for taxonomic
174 identification. The studied specimens are stored in the repository of the
175 LACONF/UFRGS.

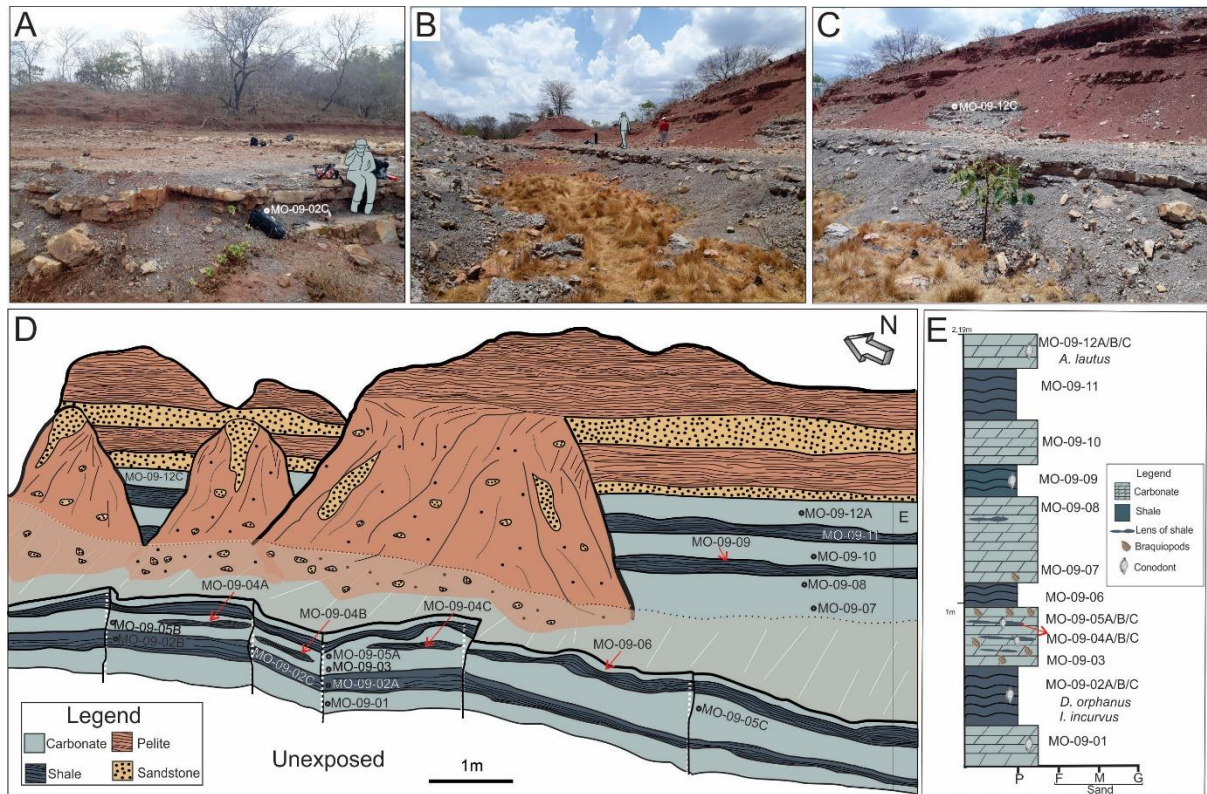
176

177 **5 Results**

178 From the collected outcrops, only in the MO-09 at Icaraí Mining (Fig. 2) produced
179 conodont elements. In this outcrop, in the MO-09-02C sample were observed
180 *Diplognathodus orphanus* and *Idiognathodus incurvus*, and in the MO-09-12C was
181 observed *Adetognathus lautus*. Samples MO-09-01, MO-09-04B, MO-09-04C, MO-09-
182 05A and MO-09-09 included fragments of S and M elements of difficult identification.
183 In sample MO-09-02C there are 7 specimens of *Diplognathodus orphanus*, 4 adults and
184 3 juveniles, and 20 specimens of *Idiognathodus incurvus*, 15 adults and 5 juveniles, in
185 addition to dozens of fragmented ramiforms. A broken specimen of adult *Adetognathus*
186 *lautus* was found in sample MO-09-12C.

187 Conodonts were not found in the MO-02 outcrop, as well as MO-01 outcrop at
 188 Mocambo Farm. The associated fossils in the MO-01 contain a shark tooth, benthonic
 189 foraminifer and fern sporangia identified as pteridophyte.

190
 191



192 Figure 2- A - C. Photographs of Mocambo Carbonate layer in the Icarai Mining outcrop
 193 MO-09, emphasis for MO-09-02C and MO-09-12C samples with the most important
 194 conodont occurrences. D. Sketch of the outcrop main section. Red arrows indicate sample
 195 level position. E. Lithostratigraphic section, that shows the conodont elements
 196 occurrences in the MO-09-01, MO-09-02, MO-09-04, MO-09-05, MO-09-09 and MO-
 197 09-12 layers.
 198
 199

200 5.1 Systematic

201 The systematic classification used here followed on Robison (1981), and Sweet
 202 (1988). The higher hierarchical categories, such as Phylum, Subphylum and Class,
 203 attended the designation of Donoghue et al. (1998).

204 **Phylum** CHORDATA Bateson, 1886

205 **Subphylum** VERTEBRATA Linnaeus, 1758

206 **Class** CONODONTA Pander, 1856

207 **Order** OZARKODINIDA Dzik, 1976

208

209 **Family** SWEETHOGNATHIDAE Ritter, 1986

210 **Genus** *Diplognathodus* Kozur and Merrill, 1975

211 **Type-specie** *Spathognathodus coloradoensis* Murray & Chronic, 1965.

212 **Diagnosis.** Six-membered or seven-membered apparatus. Element Pa *scaphate*.
 213 Free blade with the same length as the carina, partially or completely fused to the carina,
 214 on the platform; basal cavity with sub-elliptical contour, with the deepest portion located
 215 behind the free blade; Pb *angulate*, M *dolabrate*, Sa *alate* with a well-developed posterior
 216 process and the elements Sb and Sc *bipennate*.

217

218 *Diplognathodus orphanus* (Merrill, 1973)

219 (Fig. 3 A, B,C)

220

221 2005- *Diplognathodus orphanus* Merrill. Scomazzon and Lemos: p. 206, fig. 2 C-
 222 D.

223 2009- *Diplognathodus orphanus* Merrill. Nascimento et. al: p. 43, fig. 4 G.

224 2010- *Diplognathodus ellesmerensis* Bender. Nascimento et. al: p. 249, fig. 5 M.

225 2010-*Diplognathodus orphanus* Merrill. Nascimento et. al: p. 249, fig. 5 N.

226 2016- *Diplognathodus orphanus* Merrill. Scomazzon et. al: p. 35. Fig. 10, 23-26.

227

228 **Description.** In lateral view, the P1 element is smoothly arched. The free blade is
 229 approximately twice the height of the carina. It contains four to six denticles, which are
 230 higher than the carina, fused by about two thirds of their height. The carina has four short
 231 and also fused denticles forming a row of denticles. Between the last denticle of the free
 232 blade and the first of the carina, there is a suppressed denticle. In the aboral view, the
 233 basal cavity is expanded, deep and asymmetrical.

234 **Occurrence.** *Diplognathodus orphanus* ranges mainly the Atokan of North
 235 America (Sweet, 1988; Grayson 1979; Grayson, 1984; Grubbs, 1984; Groves and
 236 Grayson, 1984; Manger and Sutherland 1984) and in the Amazonas Basin (Lemos, 1990;
 237 Lemos and Medeiros, 1996; Scomazzon and Lemos, 2005; Nascimento, 2008;
 238 Scomazzon et al., 2016). This species is also known in South China from the
 239 Morrowan/Atokan boundary and through Atokan (Wang and Qi, 2003; Qi et al., 2016;
 240 Hu et al., 2017).

241 **Family** IDIOGNATHODONTIDAE Harris and Hollingsworth, 1933

242 **Genus** *Idiognathodus* Gunnell, 1931

243 **Type-specie** *Idiognathodus claviformis* Gunnell, 1931.

244 **Diagnosis.** Six-membered or seven-membered apparatus. Element Pa *scaphate*,
 245 Pb *angulate*, M *dolabrate*, Sa *alate*, Sb *bipennate*, Sc *bipennate*. The Pa element is
 246 diagnostic with long free blade with at least half the length of the element. Carina partially
 247 or completely suppressed. The transverse ridges are well developed mainly in the
 248 posterior portion of the oral surface and do not present medium depression.

249

250 *Idiognathodus incurvus* Dunn, 1966

251 (Fig. 3 D, E, F)

252

253 1979-*Idiognathodus magnificus* Stauffer; Plummer. Campanha and Rocha-
 254 Campos

255 1979- *Idiognathodus delicatus* Dunn. Campanha and Rocha-Campos

256

257 **Description.** The P1 element has an elongated platform, with a pointed end. The
 258 free blade is broken. The outer margin of the platform has a thin accessory lobe with one
 259 to two nodules and the inner margin has a thin accessory lobe with one nodule. Presence
 260 of eight to ten transversal ridges that extend from one margin to another, crossed by the
 261 carina that extends all over the platform from anterior to the posterior end. In lateral view,
 262 the platform is smoothly convex anteriorly and concave posteriorly. The basal cavity is
 263 asymmetrical, deep, and centered below the median portion of the platform.

264 **Occurrence.** *Idiognathodus incurvus* was described in the uppermost Morrowan
 265 of the Donets Basin (Nemyrovska, 1999) and ranges through Atokan on Midcontinent of
 266 North American (Whiteside and Grayson, 1990; Sutherland and Grayson, 1992; Barrick
 267 et al. 2004; Barrick et al. 2013), upper Bashkirian on southern Europe (Blanco Ferrera et
 268 al., 2005) and Atokan until early Desmoinesian of the Itaituba Formation and lower part
 269 of Nova Olinda Formation of the Amazonas Basin (Scomazzon, 1999; Lemos and
 270 Scomazzon, 2001; Nascimento, 2008; Nascimento et al., 2010; Scomazzon et al., 2016).

271

272 **Family** CAVUSGNATHIDAE Austin and Rhodes, 1981

273 **Genus** *Adetognathus* Lane, 1967

274 **Type-specie** *Cavusgnathus lautus* Gunnell, 1933.

275 **Diagnosis.** Multielemental conodont with six-membered apparatus in which the
276 element Pa is *scaphate*; Pb is *angulate*; M is *dolabrate*; Sa is *alate* with a posterior
277 process, and Sc is *bipennate*, of two types. Apparatus reconstructed by Baesemann
278 (1973).

279

280 *Adetognathus lautus* (Gunnell, 1933)

281 (Fig. 3. I)

282

283 1979-. *Cavusgnathus lautus* Gunnell. Campanha and Rocha-Campos

284 1979- *Cavugnathus gigantus* Gunnell. Campanha and Rocha-Campos

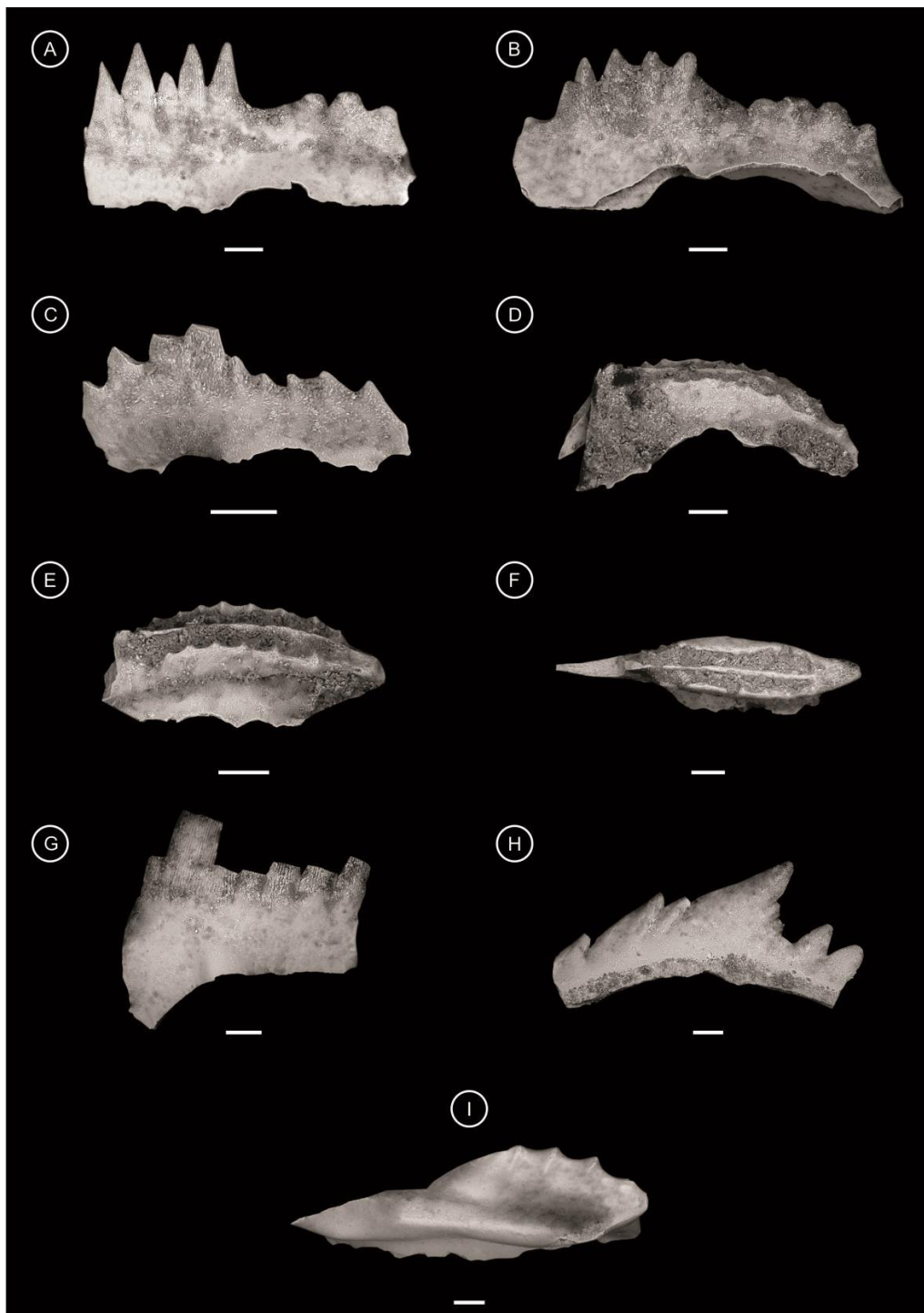
285

286 **Description.** In the upper view, the platform is partially broken, is narrow, with
287 margins ornamented by smooth transverse ridges. The free blade is broken. In lateral view
288 the platform is smoothly arched. The basal cavity is asymmetrical and deeper in the
289 previous third of the aboral portion of the platform.

290 **Occurrence.** *A. lautus* occurs in the North American Morrowan and lower Atokan
291 in Midcontinent, Rocky Mountains, and Arrow Canyon regions (Lane and Straka, 1974;
292 Lane, 1977; Grubbs, 1984; Grayson, 1984; Groves and Grayson, 1984; Abplanalp et al.
293 2009; Lane et al. 2019). It ranges through the Donets Basin Morrowan beds, Eastern
294 Europe (Nemyrovska 1982, 1987, 1999; Nemyrovska and Hu, 2018). It is common in the
295 Morrowan to the Atokan in Amazonas Basin (Lemos, 1990; Lemos and Medeiros, 1996;
296 Neis, 1996; Scomazzon, 1999; Scomazzon, 2004; Nascimento et al., 2005; Nascimento
297 et al. 2010; Scomazzon et al., 2016). *A. lautus* also occurs in the North American lower
298 and middle Desmoinesian in New Mexico (Stewart et al. 1997; Page et al. 2010; Navas-
299 Parejo, 2018) and in the Missourian in Utah region (Ritter et al., 2002).

300

301



302

303 Figure 3- Conodont elements collected in the Mocambo Carbonate, MO-09 Icaraí Mining, Piauí Formation,
 304 Parnaíba Basin. A, B) *Diplognathodus orphanus* (Merrill, 1973). Adult elements. MO-09-02C. C)
 305 *Diplognathodus orphanus* (Merrill, 1973). Juvenile element. MO-09-02C. D, E) *Idiognathodus incurvus*
 306 Dunn, 1966. Adult elements. MO-09-02C. F) *Idiognathodus incurvus* Dunn, 1966. Juvenile element. MO-
 307 09-02C. G) M element. MO-09-02C. H) M element. MO-09-04B. I) *Adetognathus lautus* Gunnell, 1933.
 308 Adult element. MO-09-12C. Scale bar 50µm.

309

310

311

312 **6 Discussion**

313 *Diplognathodus* is an excellent biostratigraphic marker of the Middle
314 Pennsylvanian, especially the species *Diplognathodus orphanus*, which occurs only in
315 the late Bashkirian. Merrill (1973) described this species for the first time together with
316 *Diplognathodus coloradoensis* and *Diplognathodus ellesmerensis*. Landing and Wardlaw
317 (1981) and Savage and Barkeley (1985) considered these species being morphotypes of
318 one species. Others assumed to be separate species due to their denticulate or edentate
319 spatulas (van den Boogaard, 1983; van den Boogaard and Bless, 1985; von Bitter and
320 Merrill, 1990).

321 *Idiognathodus* spp. have a large morphologic variation of the platform elements.
322 In the case of *Idiognathodus incurvus*, they belong to a complex of morphotypes that
323 includes *I. claviformis*, *I. sinuosus*, *I. klapperi* and *I. magnificus* and differs from these by
324 the pointed posterior end, parallel adcarinal ridges close to the carina and greater
325 morphological variation of the accessory lobes (Scomazzon, 2004). Grayson et al. (1989)
326 discussed the evolutionary relationship of *Idiognathodus klapperi*, *I. incurvus*, *I.*
327 *claviformis* and *I. magnificus* suggesting a phylogenetic sequence for these species, but
328 this relationship has been contested by some conodont researchers. This genus is an
329 important marker of Bashkirian age. Herein we describe the occurrence of *I. incurvus*
330 according to Grayson et al. (1989).

331 Lane (1967) established the genus *Adetognathus*, integrating the Upper
332 Mississippian conodont data from Rexroad (1958) and Rexroad and Burton (1961) and
333 concluded that the first *Adetognathus* species (*Adetognathus unicornis*) evolved from
334 *Cavusgnathus unicornis*. Dunn (1970) considered that *A. unicornis* originated *A. lautus*,
335 while Lane and Straka (1974) suggested that *A. unicornis* evolved into *A. lautus* through
336 *A. spathus*.

337 Campanha and Rocha-Campos (1979) described conodont faunas from Parnaíba
338 Basin for the first time with the occurrences updated here for *Idiognathodus* and
339 *Neognathodus*, assigning a Pennsylvanian age to the marine section of Piauí Formation.
340 Posteriorly, Medeiros (2020) discussed new taxa in Mocambo Carbonate with the finding
341 of the *Neognathodus* and *Declinognathodus* genus, which helped to refine the
342 Pennsylvanian to the Bashkirian age. Among the taxa described by Campanha and Rocha
343 Campos (1979) and Medeiros (2020), we present a new taxon to the studied area,
344 *Diplognathodus orpanhus*, which helps to refine the analyzed section to late Bashkirian.

345 The finding of *Declinognathodus noduliferus*, of early to late Bashkirian, and herein the
 346 occurrence of *D. orphanus*, of late Bashkirian, allows the refinement of the age of studied
 347 section.

348 The occurrence of *D. orphanus* and *Idiognathodus incurvus*, characteristic of
 349 subtidal facies, in the lower part of the sequence in the MO-09-02C and *Adetognathus*
 350 *lautus*, characteristic of supratidal facies, in the upper part of the MO-09-12C, helps to
 351 identify an event of shallowing upward in a transgressive-regressive sea level fluctuation
 352 to the section.

353 The conodont fauna identified in this paper to the marine sequence of Piauí
 354 Formation, Parnaíba Basin, is similar to the described fauna in the related transgressive
 355 deposits of Itaituba Formation, Amazonas Basin, and it will be useful to the understanding
 356 of the Pennsylvanian marine incursions.

357

358 6.1 Conodont biostratigraphy

359 Useful conodont biozones were established for the Pennsylvanian series, and their
 360 stages defined from classical areas such as North America, Western Europe, Russia, and
 361 China resulting in very accurate conodont biostratigraphy. These zones are very well
 362 correlated with the marine section of the Itaituba Formation of Amazonas Basin, and it is
 363 possible to correlate with Piauí Formation, discussed as follow. The biozones discussion
 364 is based on international stages and correlated with the regional stages of the North
 365 America (Fig. 4)

Age (Ma)	Epoch/Age (Stage)	North America
300	Gzhelian	Virgilian
303,68		
305	Kasimovian	Missourian
307,02		
310	Moscovian	Desmoinesian
315,15		
315	Bashkirian	Atokan
320		
323,4		Morrowan

366

367 Figure 4- Correlation of Pennsylvanian international subdivisions and North American regional
 368 nomenclature (Modified from Aretz *et al.* 2020).

369 *Diplognathodus orphanus* species appears in one of three assemblage zones
370 defined by Lemos (1990) for the Pennsylvanian of the Amazonas Basin. The
371 *Diplognathodus orphanus*- *Diplognathodus coloradoensis* Zone occurs within middle
372 and upper Itaituba Formation, indicating a Atokan age. Lemos and Medeiros (1996) also
373 recognized this zone, associated with *Idiognathodus magnificus* for Itaituba Formation in
374 the Atokan stage. The upper limit of this zone is marked by the disappearance of
375 *D.orphanus*. Neis (1996) established zones for Itaituba Formation on the north and south
376 platforms and *D.orphanus* composed the *Diplognathodus* spp. zone of the Atokan age,
377 with their appearance and disappearance marking the zone limits (Fig. 5A.1)

378 Nascimento (2008) and Nascimento et al. (2010) established the taxon range zone
379 *Diplognathodus orphanus* for the basal Itaituba Formation in the Tapajós river section,
380 with this species being an excellent marker of Atokan age.

381 In North America, the genus *Diplognathodus* was used by Lane (1977) to define
382 the Morrowan-Atokan boundary. Bender (1980) and Manger and Sutherland (1984)
383 identified the upper Atokan boundary in different regions of North America by the first
384 occurrence of *Diplognathodus orphanus*. Groves and Grayson (1984) analyzed the
385 conodont occurrence in the frontal Ouachita Mountains, southeastern Oklahoma, where
386 *D. orphanus* appears in the *Idiognathodus* n. sp. – *Diplognathodus* spp. assemblage, for
387 the upper part of Wapanucka Formation of Atokan age (Fig. 5A.2).

388 Wang and Qi (2003) described in detail the conodont sequence of the
389 Pennsylvanian in the Nashui section in Luodian, Guizhou, South China, where
390 *Diplognathodus orphanus* – *D. ellesmerensis* zone was recognized. This zone is related
391 to the Huashibanian regional stage, which is correlated with lower Moscovian and Atokan
392 in the regional stage of North America.

393 For the Naqing section, Luodian, Guizhou, South China, Qi et al. (2016) described
394 the late Bashkirian and early Moscovian conodont occurrences and discussed the
395 morphological transition in *Diplognathodus*. The morphology transitional from
396 *Diplognathodus* aff. *orphanus* to *D. ellesmerensis* was discussed and characterizes the
397 Bashkirian–Moscovian boundary interval in the Naqing section.

398 The stratigraphic distribution of *D. orphanus* in South China occurs mainly the
399 Atokan stage, but some occurrences are also related to the Morrowan-Atokan boundary
400 (Fig. 5A.3).

401 Scomazzon (1999) defined interval zones for the Itaituba Formation in outcrops
402 from the southern Amazonas Basin platform, where *Idiognathodus incurvus* appears in
403 *Idiognathodus claviformis- Idiognathodus incurvus* zone to early Desmoinesian. Lemos
404 and Scomazzon (2001) recognized the *I. incurvus-Idiognathodus claviformis* zone,
405 although from late Atokan to early Desmoinesian.

406 Nascimento (2008) and Nascimento et al. (2010) established an assemblage zone
407 of *Idiognathodus incurvus- Neognathodus atokaensis- Neognathodus medadultimus* of
408 Atokan age for the basal Itaituba Formation in the Tapajós River section.

409 Scomazzon et al. (2016) observed *I. incurvus* was the most abundant species,
410 occurring in the Itaituba and Nova Olinda formations and define the *I. incurvus* zone.
411 This local range zone correlated throughout the three geographic areas of the basin, north
412 and south platforms, and central area, and the age span is from Atokan to early
413 Desmoinesian. Therefore, the stratigraphic distribution of the *Idiognathodus incurvus*
414 species in the Pennsylvanian sequence of Amazonas Basin comprises the Atokan to early
415 Desmoinesian (Fig. 5B.1).

416 In the Midcontinent of North America, *Idiognathodus incurvus* species was
417 observed by Whiteside and Grayson (1990), who described an assemblage with a
418 Pennsylvanian age, where *I. incurvus* composes an assemblage zone in Atoka Formation,
419 south of Oklahoma, of Atokan age. Grayson et al. (1989) and Grayson (1990) qualify *I.*
420 *incurvus* as an index fossil for the middle Atokan for the Midcontinent. Barrick et al.
421 (2013) updated the Midcontinent North American conodont zonation of Barrick et al.
422 (2004) and from the correlation of Pennsylvanian strata around the Midcontinent Basin,
423 assigned the occurrence of *I. incurvus* to the Atokan stage. The occurrence of this species
424 for Midcontinent North American is limited to the Atokan stage (Fig. 5B.2).

425 In the Donets Basin, Ukraine, *I. incurvus* is found in the conodont assemblage of
426 the *Declinognathodus marginodosus* zone and *Declinognathodus donetzianus* zone of
427 Nemyrovska (1999), in the uppermost Bashkirian. Blanco Ferrera et al. (2005) reported
428 the first occurrence of this species in the Cantabrian Mountains and southern Europe,
429 from upper Bashkirian or lower Moscovian beds. Therefore, *I. Incurvus* occurs in upper
430 Bashkirian layers on those occurrences observed in Europe (Fig. 5B.3).

431 In the Amazonas Basin zones, *Adetognathus lautus* appears as an associated fauna
432 in the *Neognathodus symmetricus-Rhachistognathus muricatus* zone of Lemos (1990)
433 and Lemos and Medeiros (1996), and the corresponding *Rhachistognathus muricatus-*

434 *Idiognathoides ouachitensis* zone of Neis (1996). Both zones are of Morrowan age and
435 occur in the Monte Alegre Formation and the lower part of the Itaituba Formation.

436 *A. lautus* is also observed in local conodont range zones of Scomazzon (1999) for
437 the Itaituba Formation, in the outcrops of the southern platform basin. Those local range
438 zones are the *Idiognathodus sinuosus-Rhachistognathus muricatus* zone, for late
439 Morrowan, and the *Idiognathodus klapperi-Streptognathodus parvus* zone, for the
440 Atokan.

441 In Nascimento et al. (2005), *A. lautus* appears in an associated fauna, here related
442 to the taxon amplitude zone *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus roundyi* subzone, as
443 a marker of the Atokan. This species was identified by Nascimento et al. (2009) in a
444 typical association of the Atokan, whose age was corroborated by studies on
445 palynomorphs by Smaniotto (2010).

446 Scomazzon et al. (2016) analyzed the occurrence of conodonts in three different
447 geographical areas in the Amazonas Basin, the north and south platforms, and the central
448 basin area. This analysis allowed the establishment of zones for the basin as a whole,
449 where the *Idiognathodus incurvus* zone and the *Diplognathodus coloradoensis* subzone,
450 of Atokana age, observed the occurrence of *Adetognathus lautus* in associated fauna.
451 Thus, the local stratigraphic distribution of *Adetognathus lautus* in the Pennsylvanian
452 sequence of the Morrowan and Atokan of the Tapajós Group, Amazonas Basin, (Fig.
453 5C.1).

454 In North America, *A. lautus* appears in several regions. In the Midcontinent,
455 Grayson (1984) and Grubs (1984), analyzing the fauna of the conodonts of Wapanucka
456 and Atoka Formations in Arbuckle Mountains, Oklahoma, observed the expressive
457 occurrence of *A. lautus* in both formations, indicating a Morrowan fauna for Wapanucka
458 Formation and Atokan fauna for Atoka Formation. Groves and Grayson (1984)
459 documented occurrences of *A. lautus* during successive assemblages that vary from
460 Morrowan to the Morrowan-Atokan boundary, in the Ouachita Mountains, southeastern
461 Oklahoma. Whiteside and Grayson (1990) described the assembly of *I. incurvus* in Atoka
462 Formation, south of Oklahoma, of Atokan age, where *A. lautus* composes the assembly.

463 Another region in North America where *A. lautus* occurs is the Paradox Basin of
464 Utah. In those sequences, the occurrence is the uppermost of *A. lautus* in the
465 Pennsylvanian sequence, of Missourian age, appearing as part of the associated fauna of
466 *Streptognathodus gracilis* and *Streptognathodus firmus* zones by Ritter et al. (2002).

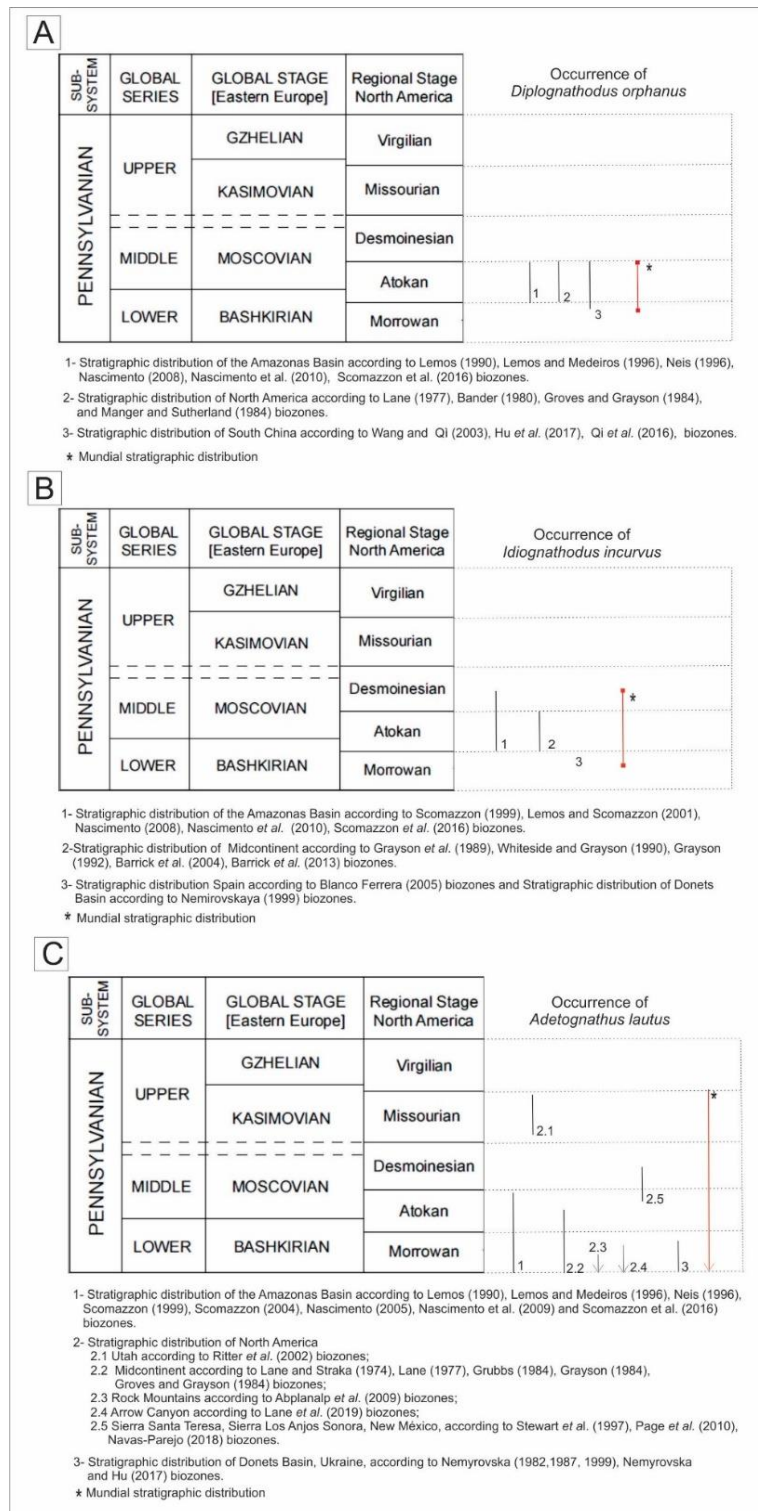
467 Abplanalp et al. (2009) established the *Adetognathus lautus* zone for the northern
468 Rocky Mountain region, with a relatively short duration ranging of Mississippian-
469 Pennsylvanian boundary. The lower limit of this biozone is defined by the first occurrence
470 of the *A. lautus* in the latest Chesterian and the upper limit of this biozone is marked by
471 the first occurrence of Pennsylvanian species.

472 Lane and Baesemann (1982) established the conodont zonation of the Arrow
473 Canyon section for the first time. Lane et al. (2019) revised the studies to get the
474 systematic occurrences and descriptions throughout this section. The authors observed *A.*
475 *lautus* occurring in the upper *Rhachistognathus muricatus* zone to *Neognathodus*
476 *symmetricus* zone and above in the Arrow Canyon section, comprising the upper
477 Mississippian, the Mississippian-Pennsylvanian boundary, and the lower Pennsylvanian.

478 Stewart et al. (1997) documented conodonts in the Sierra Santa Teresa, Sonora,
479 and New Mexico suggesting an Atokan-Desmoinesian age. Page et al. (2010) identified
480 a conodont fauna composed of *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Idiognathodus*
481 *sinuosus*, and *Neognathodus bothrops*, in the Sierra Los Anjos region, Sonora, New
482 Mexico, in the strata of the Middle and Upper Pennsylvanian area of Los Gringos,
483 indicating an Atokan-Desmoinesian age. From these North American occurrences, the
484 stratigraphic distribution of the *Adetognathus lautus* species is established in the upper
485 Mississippian, in the Mississippian-Pennsylvanian boundary, and also in lower, middle,
486 and upper Pennsylvanian (Fig. 5C.2).

487 *A. lautus* recorded in the conodont association of the Donets Basin, Ukraine, in
488 Nemyrovskaya (1982, 1987, 1999) and Nemyrovskaya and Hu (2018) in the
489 *Declinognathodus noduliferus* and *Idiognathoides sinuatus-Idiognathoides sulcatus*
490 *sulcatus* zones, marking the lower Bashkirian (Fig. 5C.3).

491 Based on this evidence, the most important species for biostratigraphic results is
492 *D. orphanus*, which has a precise temporal resolution for all biozones analyzed, and is an
493 excellent marker of Atokan age (asterisk in Fig. 5A). *I. incurvus* has a lower but still
494 significant temporal resolution with the stratigraphic distribution in the Bashkirian-
495 Moscovian boundary, from upper Morrowan through Atokan to lower Desmoinesian
496 (asterisk in Fig. 5B). *A. lautus* has a large geographic distribution and a relatively long
497 duration ranging to the uppermost of the Mississippian and in Pennsylvanian beds (asterisk
498 in Fig. 5C).

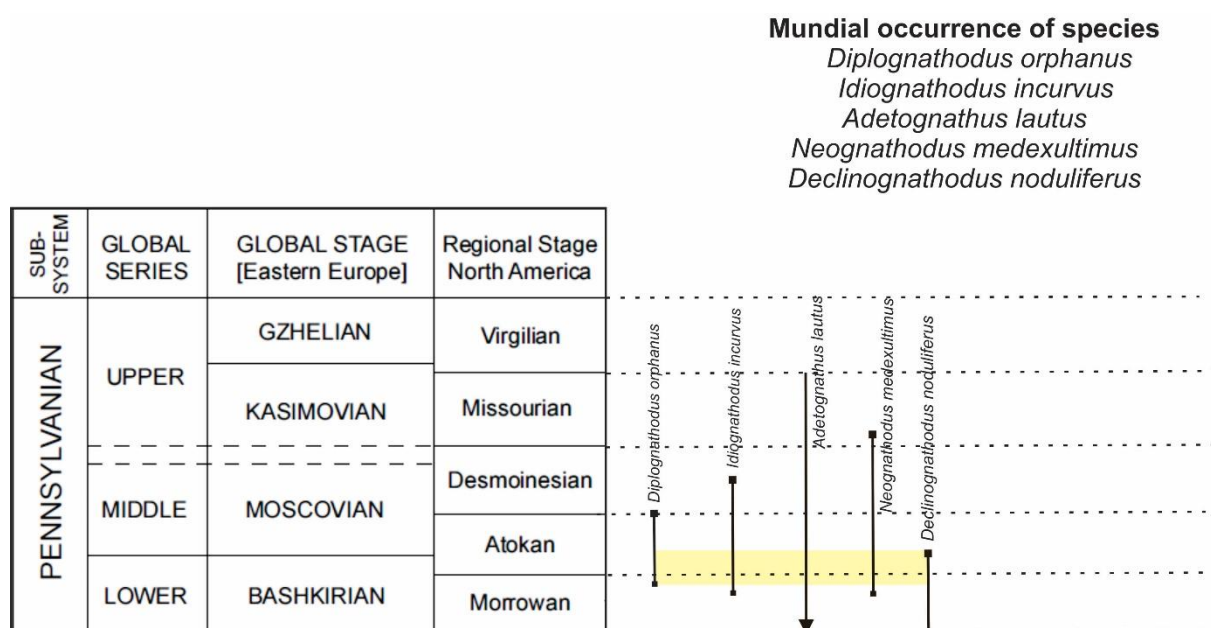


499

500 Figure 5- Stratigraphic distribution of conodonts identified. A) Occurrence of *Diplognathodus orphanus* in
 501 Amazonas Basin (1), North American (2) and South China (3) biozones. B) Occurrence of *Idiognathodus incurvus*
 502 in Amazonas Basin (1), North American Midcontinent (2) and Europe (3) biozones. C) Occurrence
 503 of *Adetognathus lautus* in Amazonas Basin (1), North America (2) and Ukraine (3) biozones. Emphasis on
 504 asterisk (red transversal line) to mundial stratigraphic distribution for each species.
 505

506 The conodont taxa *Declinognathodus noduliferus*, *Idiognathodus incurvus*, and
 507 *Neognathodus medexultimus* were described by Medeiros (2020) in this same sequence

508 at Icaraí Mining. In those occurrences, *Neognathodus medexultimus* has a stratigraphic
 509 distribution that ranges from upper Bashkirian to Kasimovian (Merrill, 1999; Boncheva
 510 et al., 2007), while the stratigraphic distribution of *Declinognathodus noduliferus* occurs
 511 in throughout the Bashkirian stage. The identification of conodont assemblages suggests
 512 an upper Bashkiran age in the Morrowan-Atokan boundary. The occurrence of
 513 *Declinognathodus noduliferus* defines the minimum age of the section, and the
 514 occurrence of *Diplognathodus orphanus* related in this paper defines the maximum age
 515 (Fig. 6).



516

517 Figure 6- Mundial occurrence of studied species in this paper and in Medeiros (2020) with emphasis
 518 (yellow) to the age estimation for Mocambo Carbonate.

519

520 6.2 Paleoecologic considerations

521 The Upper Member sequence of the Piauí Formation consists mainly of
 522 dolomitized carbonate rocks and some organic shale that includes fern sporangia and
 523 faunal association with fish teeth, and conodonts, and some brachiopods, corals and
 524 gastropods impressions. The conodont fauna observed in these sequences includes the
 525 genera *Diplognathodus*, *Idiognathodus* and *Adetognathus* and occurs only in strata of the
 526 Icaraí Mining outcrop.

527 The first conodont occurrence in the Mocambo carbonate sequence by Campanha
 528 and Rocha Campos (1979) was observed at Mocambo Farm, here sampled as MO 01
 529 outcrop, barren for conodonts. Possibly, this lack of conodonts is related to taphonomic

530 and diagenetic processes, and also due to the paleoecologic and paleoenvironmental
531 conditions.

532 Taphonomic processes such as transport can promote the separation of the
533 conodont animal feeding apparatus and concentrate the elements in different positions
534 along the layers. Sample collection may affect the results. The diagenetic processes, such
535 as dolomization, replace microfossils and facilitate later dissolution processes.

536 Another possibility is the environmental conditions of the restricted sea in this
537 section of Piauí Formation, with thin shallow water layers, resulting in small diversity
538 and numbers of living conodont fauna. This interpretation is supported by the occurrences
539 of juvenile conodonts suggesting this very shallow neritic region was a nursery of
540 conodonts. Its corroborates with the lateral facies correlation of Medeiros (2020), where
541 the succession of Mocambo Farm represents the shallower deposits in compared to the
542 Icaraí Mining succession, closer to the origin of the flooding.

543 The investigation of conodont biofacies and construction of biofacies models in
544 classic papers such as Davis and Webster (1985) improved biostratigraphic and
545 paleoenvironmental uses of Pennsylvanian conodonts. Merrill and von Bitter (1984)
546 suggested that depth, hydraulic energy, pH, biotic association, and salinity were factors
547 controlling the distribution of substrate specific Pennsylvanian conodonts, jointly to
548 energy levels, with the influence of wave and tidal current. However, Blatt (1982)
549 considered that effects of wave and tidal currents were diminished in a shallow, epeiric
550 sea setting, which is the case of this sequence.

551 In terms of paleoecologic analyses of conodont genus, Davis and Webster (1985)
552 characterize the presence of *Adetognathus* in lagoonal, tidal flat, and barrier bar
553 environments within the shallow-water, nearshore environments, moderate to high energy
554 and salinity. In this study, *Adetognathus* were observed more effectively in shallow water
555 and low salinity shales. Driese et al. (1984) defined that *Adetognathus* are abundant in
556 deposits formed of grain-supported rocks, typical of more proximal environmental
557 context, restricted and variable salinity.

558 *Idiognathodus* appears in biofacies association within *Idiognathoides* and
559 *Declinognathodus*, for shallow marine water, and is a typical genus of the intertidal
560 environment of low energy with normal salinity (Davis and Webster, 1985). Merrill and
561 von Bitter (1984) considered that the genus occurrence can be broader, occupying
562 different contexts in the tidal plain.

563 Nascimento et al. (2010) recorded a conodont fauna composed mainly by
564 *Diplognathodus* and *Idiognathodus* in restricted marine sections in an outcrop of the
565 Itaituba Formation, Amazonas Basin. The information obtained in this study corroborates
566 the idea that this conodont association that occurs in Amazonas Basin and now in
567 Parnaíba Basin, is a register of marine area lately established in the infratidal.

568 About the conodont fauna identified in the profile of MO-09 outcrop,
569 *Diplognathodus* and *Idiognathodus* genus appears together in the most basal layers (MO-
570 09-02), while *Adetognathus* occurs in the upper layer (MO-09-12). These genera are
571 characteristic of shallow water, however, *Idiognathodus* and *Diplognathodus* lived in
572 general in the infratidal, and *Adetognathus* in the supra to intertidal. In this manner, it is
573 possible to suggest a shallowing-upward trend, corroborating with the closing of epeiric
574 Carboniferous seas in western Gondwana.

575

576 **6.3 Correlation with the occurrences of the Itaituba Formation, Amazonas Basin**

577 During the Carboniferous, the Amazonas Basin was connected by an
578 epicontinental sea that flowed into the Panthalassa Ocean (Scotese and McKerrow, 1990;
579 Torsvik and Cocks, 2013). This sea is also recorded in the transgressive strata of the
580 Parnaíba Basin, particularly in the carbonate-siliciclastic successions of the Mocambo
581 deposits of the Piauí Formation (Medeiros et al., 2019). The fossiliferous assemblages
582 found in the transgressive deposits of the Amazonas and Parnaíba basins are similar in
583 genera, especially regarding to brachiopods, molluscs and conodonts, attesting the
584 connection between the basins by an extensive epicontinental sea (Campanha and Rocha-
585 Campos, 1979; Anelli, 1999; Scomazzon, 2004; and Moutinho, 2006). The register of the
586 conodont fauna of these sequences indicates a lower Pennsylvanian age for the deposits
587 of the Itaituba and Piauí formations (Campanha and Rocha-Campos, 1979; Nascimento
588 et al., 2010; Scomazzon, et al., 2016).

589 In the Parnaíba Basin, deposits of the Mocambo Carbonate, Piauí Formation, in
590 José de Freitas (PI) region were studied, related to marine incursions concomitant with
591 desertification events during late Carboniferous (Campanha and Rocha Campos, 1979;
592 Medeiros et al., 2019). However, the study of conodonts in this sequence is still limited.

593 In the Amazonas Basin, the conodonts research has been done since 1990 with
594 publications of Lemos (1992), Lemos and Scomazzon (2001), Scomazzon (1999, 2004),
595 Nascimento et al. (2005, 2009, 2010), Nascimento (2008) and Scomazzon et al. (2016),

596 studding mainly the conodont biostratigraphy and paleoecology of Early-Middle
597 Pennsylvanian marine sequence of Tapajós Group and correlating to the Panthalassa
598 Ocean and North American Midcontinent.

599 Nascimento et al. (2010) described conodonts on the southern border of the
600 Amazonas Basin, in two outcrops along the Tapajós River and three limestone quarries
601 named 1, 2 and 3, with a fauna composed of *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides*
602 *sinuatus*, *Neognathodus bothrops*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N.*
603 *roundyi*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D.*
604 *orphanus*, *D. ellesmerensis*, *Rhachistognathus muricatus*, *Idioprioniodus* sp., *Ellisonia*
605 *latilaminata*, *E. conflexa*, *Ubinates advena* and *Gondolella* sp. From these occurrences,
606 two taxon range zones were proposed for the sequence: *Rhachistognathus muricatus* and
607 *Diplognathodus orphanus*, and one assemblage zone: *Idiognathodus incurvus* /
608 *Neognathodus atokaensis* / *Neognathodus medadultimus*. In the taxon range zone
609 *Diplognathodus orphanus* occurs associated *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides*
610 *sinuatus*, *Hindeodus minutus*, *D. ellesmerensis*, *Diplognathodus coloradoensis*, *N.*
611 *medadultimus*, *E. conflexa*, *Ellisonia latilaminata* and *Ubinates* sp.; and in the assemblage
612 zone occurs the *Adetognathus lautus*, *Neognathodus bothrops*, *N. bassleri*, *N. roundyi*,
613 *Ellisonia latilaminata* and *Hindeodus minutus*. Both zones are lithostratigraphically
614 related to the Itaituba Formation and have a late Bashkirian age.

615 The occurrences of the taxa *Diplognathodus orphanus*, *Idiognathodus incurvus*,
616 *Adetognathus lautus* and *Neognathodus bassleri* in the marine sequence of the Piauí
617 Formation reported herein, can be correlated to the taxon range zone *Diplognathodus*
618 *orphanus* and to the assemblage zone *Idiognathodus incurvus* / *Neognathodus*
619 *atokaensis* / *Neognathodus medadultimus* of Nascimento et al. (2010), since in these
620 zones *Diplognathodus orphanus*, *Idiognathodus incurvus*, *Adetognathus lautus* and
621 *Neognathodus bassleri* were also recognized.

622 Among the sections described in Nascimento et al. (2010), the quarry 3, near the
623 city of Itaituba, state of Pará, represents a marine-siliciclastic sedimentation and a
624 conodont fauna is correlated to the occurrences described to the Icaraí Mining, outcrop
625 MO 09. Quarry 3 is about 20m length and is composed of sandstones that overlap the
626 siltic facies, rich in organic matter, with levels of fossil plants and coal. The top of the
627 succession is composed by an extensive succession of siliciclastic sedimentation, with
628 sedimentary and biogenic structures indicative of episodic freshwater deposition

629 interpreted as shallow supratidal deposits by Matsuda (2003) and Moutinho (2006).
630 Above these continentalized deposits, is observed a new ingression of marine conditions
631 with the presence of conodonts and characteristic associated faunal elements. The
632 conodonts found in this facie are *Diplognatodus orphanus*, *Diplognathodus elesmeresis*,
633 *Adetognathus lautus*, *Idiognatoides sinuatus* and *Idiognathodus incurvus*. Chondrite teeth
634 of undetermined affinities were also found in the quarry 3, besides megaspores related to
635 lycophytes in abundance in the continental sedimentation facies (Nascimento, 2008;
636 Nascimento et al., 2009).

637 The record of this conodont fauna in the marine-siliciclastic sequence of the
638 Itaituba Formation is similar to that recorded in the marine-siliciclastic sequence of the
639 Piauí Formation, in the MO 09 outcrop, which has in common the conodonts
640 *Diplognathodus orphanus*, *Idiognathodus incurvus* and *Adetognathus lautus*.

641 In addition to the occurrence of conodonts, the fern sporangia present in Mocambo
642 outcrop are interesting in the herein discussion. This material is possibly related to the
643 genus *Pecopteris*. This information comes according to Dolianiti (1972) who points out
644 the existence of fossil impressions of this genus for Piauí Formation. Authors as Rigby
645 (1969) and Meyen (1970) believe that the floras of the lower and middle Carboniferous
646 would have a cosmopolitan character and that only from the upper Carboniferous began
647 differentiation. Thus, the presence of these *pecopteris* sporangia is useful in correlation
648 with Amazonas Basin and can help in understanding the adaptation of these forms to
649 adverse climatic conditions observed in Parnaíba Basin as part of the Western Gondwana,
650 during Pennsylvanian.

651 The Amazonas Basin presents less restrictive environmental conditions and
652 conodonts occur in this basin in more expressive quantities compared to the Parnaíba
653 Basin. Despite these restrictions, many similarities can be pointed out in terms of
654 lithostratigraphy and a conodont fauna characteristic of the Late Bashkirian that seems to
655 have been common to both basins (Campanha and Rocha-Campos, 1979; Anelli, 1999;
656 Scomazzon, 1999, 2004; Moutinho, 2006; Nascimento et al., 2005, 2009, 2010;
657 Nascimento, 2008; Scomazzon et al., 2016, Medeiros et al., 2019). The environmental
658 restrictions caused by the large lateral faciological variation and climatic conditions of
659 the Parnaíba Basin makes it difficult to find conodonts, but do not exclude their existence
660 as pointed in Medeiros (2020). The few studies developed for microfossils in this basin
661 also restrict the understanding of the general distribution of conodonts in the Paleozoic

662 Basins of northern Brazil. Therefore, studies like this one to locate new occurrences of
663 conodonts, establish the conditions of the epicontinental sea that connected the basins and
664 to improve the understanding of the succession as a whole are very important.

665

666 **7 Conclusions**

667 The conodont *Diplognathodus orphanus* found for the first time in this
668 Carboniferous sequence presents a precise temporal resolution and an excellent marker
669 of the late Bashkirian age. The stratigraphic distribution of *Idiognathodus incurvus* is
670 Bashkirian-Moscovian also a good marker of the Early-Middle Pennsylvanian stage. The
671 *Adetognathus lautus* is a long duration ranging species, with distribution to the last strata
672 of the Mississippian to Late Pennsylvanian, but is relevant genus for recognition of shallow
673 marine conditions. The conodonts herein analyzed suggest a late Bashkirian age inferring
674 a very shallow marine platform of infra to intertidal facies for the marine sequence of
675 Piauí Formation, Parnaíba Basin, Northeast Brazil. This sedimentary succession is
676 possible to correlate with part of the Tapajós Group, Amazonas Basin according to
677 conodont occurrence and associated fauna, improving the knowledge of the transgressive-
678 regressive fluctuations of the epeiric seas in the Western Gondwana during late Paleozoic.

679

680 **Acknowledgments**

681 This work is part of the Master's dissertation of the first author at the Programa de
682 Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) of the Universidade Federal do Pará
683 (UFPA) and funding provided by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
684 Tecnológico (CNPq). We thank the Laboratório de Conodontes e Foraminíferos
685 (LACONF) of Universidade Federal do Rio Grande do Sul for support. The authors also
686 thank Léo A. Hartmann for suggesting helpful improvements to the manuscript.

687

688 **References**

- 689 Abplanalp J.M., Isaacson R.E., Batt L.S., Pope M.C. 2009. Conodont biostratigraphy of
690 chesterian strata (late mississippian-early pennsylvanian), east-central Idaho and
691 southwestern Montana. *Mt. Geol.* 46, 89–104.
- 692 Abrantes F.R., Nogueira A.C.R., Andrade L.S., Bandeira J., Soares J.L., Medeiros R.S.P.
693 2019. Register of increasing continentalization and palaeoenvironmental changes in the
694 west-central pangaea during the Permian-Triassic, Parnaíba Basin, Northern Brazil. *J.*
695 *South Am. Earth Sci.* 93, 294–312.

- 696 Abrantes, F.R., Nogueira, A.C.R., Soares, J.L., 2016. Permian paleogeography of west-
697 central Pangea: Reconstruction using sabkha-type gypsum-bearing deposits of Parnaíba
698 Basin, Northern Brazil. *Sediment. Geol.* 341, 175–188.
- 699 Aguiar G.A. de. 1971. Revisão geológica da bacia paleozoica do Maranhão. *In: 25°*
700 *Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, Anais...3*, 113-122.
- 701 Almeida, F.F.M., Brito Neves, B.B., Carneiro, C.D.R., 2000. The origin and evolution of
702 the South American Platform. *Earth Sci. Rev.* 50, 77–111.
- 703 Anelli, L.E., Rocha-Campos, A.C., Simões, M., Peck, R., 2009. Pennsylvanian
704 Heteroconchia (Mollusca, Bivalvia) from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil.
705 *Rev. Bras. Paleontol.* 12, 93–112.
- 706 Anelli, L.E., 1999. Invertebrados neocarboníferos das Formações Piauí (Bacia do
707 Parnaíba) e Itaituba (Bacia do Amazonas): taxonomia; análises cladística das subfamílias
708 oriorassatellinae (crassatellacea, bivalvia) e neospiriferinae (spiriferoidea, brachiopoda)
709 184.
- 710 Anelli, L.E., Rocha-Campos, A.C., Simões, M.G., 2006. Pennsylvanian Pteriomorphian
711 Bivalves From the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil. *J. Paleontol.* 80, 1125–1141.
- 712 Araújo, R.N., Nogueira, A.C.R., Bandeira, J., Angélica, R.S., 2016. Shallow lacustrine
713 system of the permian Pedra de Fogo formation, western Gondwana, Parnaíba Basin,
714 Brazil. *J.S.Am. EarthSci.* 67, 1–14.
- 715 Aretz, M., Herbig, H.G., Wang, X.D., Gradstein, F.M., Agterberg, F.P., Ogg, J.G., 2020.
716 The Carboniferous Period. *In: Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M.*
717 *(eds.). Geologic Time Scale. Elsevier. 1394p.*
- 718 Baesemann, J.F. 1973. Missourian (Upper Pennsylvanian) Conodonts of the Northeastern
719 Kansas. *Journal of Paleontology, Tulsa, Okla.*, 47(4), 689–710.
- 720 Barrick, J.E., Lambert, L.L., Heckel, P.H., Boardman, D.R., 2004. Pennsylvanian
721 conodont zonation for midcontinent North America. *Rev. Española Micropaleontol.* 36,
722 231–250.
- 723 Barrick, J.E., Lambert, L.L., Heckel, P.H., Rosscoe, S.J., Boardman, D.R., 2013.
724 Midcontinent Pennsylvanian conodont zonation. *Stratigraphy* 10, 55–72.
- 725 Becker, C.R., 2005. Cicloestratigrafia da sequência carbonático-evaporítica
726 pensilvaniana da Bacia do Solimões, Norte do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*
727 35, 45–56.
- 728 Bender, K.P. 1980. Lower and Middle Pennsylvanian conodonts from the Canadian Arctic
729 Archipelago. *Geological Survey of Canada*, 79(15), 1–24.
- 730 Blanco-Ferrera, S., García-López, S., Sanz-López, J., 2005. Carboniferous conodonts
731 from the Cares river section (Picos de Europa Unit, Cantabrian Zone, NW Spain).
732 *Geobios*, 38, 17–27.

- 733 Blatt, H. 1982. *Sedimentary Petrology*. 564 p. Freeman, San Francisco.
- 734 Boucot, A.J.; Xu, C.; Scotese, C., Morley, R.J. 2013. Phanerozoic paleoclimate: an atlas
735 of lithologic indicators of climate. Tulsa, Society for Sedimentary Geology, 30 p.
736 (Concepts in Sedimentology and Paleontology 11).
- 737 Boncheva, I., Barhami, A., YazdI, M., Toraby, H. 2007. Carboniferous conodont
738 biostratigraphy and Late Palaeozoic depositional evolution in South Central (Asanabad
739 section – SE Ishfahan). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 113, 329– 356.
- 740 Brown, L.M., Rexroad, C.B., Eggert, D.L., Horowitz, A.S., 1991. Conodont Paleontology
741 of the Providence Limestone Member of the Dugger formation (Pennsylvanian,
742 Desmoinesian) in the Southern part of the Illinois Basin. *Journal of Paleontology*, 65(6),
743 945–957.
- 744 Campanha, V.A., Rocha-Campos, A.C., 1979. Alguns microfósseis da formação Piauí
745 (neocarbonífero), bacia do Parnaíba. *Bol. IG* 10, 57.
- 746 Caputo M. V., Iannuzi R., Fonseca V. M. M. 2005. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia
747 do Parnaíba. *Fundação Paleontológica Phoenix*, 81(7),1–6.
- 748 Davis, L.E; Webster, G.D., 1985. Late Mississippian to Early Pennsylvanian Conodont
749 Biofacies in Central Montana. *Lethaia*, 18, 67–72.
- 750 Della Fávera, J.C. Tempestitos na Bacia do Parnaíba. 1990. Tese de Doutorado,
751 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 560 p.
- 752 Dolianiti, E., 1972. Relações entre a floras paleozoicas do Brasil. *Anais da Academia*
753 *Brasileira de Ciências*, 44 (sup.), 113–117.
- 754 Donoghue, P.C.J., Purnell, M.A., Aldridge, R.J., 1998. Conodont anatomy, chordate
755 phylogeny and vertebrate classification, *Lethaia*, 31, 211–219.
- 756 Driese, S.G.; Carr, T. R.; Clark, D.L., 1984. Quantitative analysis of Pennsylvanian
757 shallow-water conodont biofacies. In: Clark, D.L. (Ed.) *Conodont Biofacies and*
758 *Provincialism*. USA. 196, 233–250.
- 759 Dunn, D.L., 1966. New Pennsylvanian platform conodonts from southwestern United
760 States. *Journal of Paleontology*, 40 (6), 1294–1303.
- 761 Dunn, D.L., 1970. Middle Carboniferous Conodonts from Western United States and
762 Phylogeny of the Platform group. *Journal of Paleontology*, 44(2), 312–342.
- 763 Góes, A. M. O., Feijó, F.J., 1994. Bacia de Parnaíba. *Bol. Geociências da Petrobras*.
- 764 Grayson, R, C., Jr., 1979. Mississippian and Lower Pennsylvanian shelf-to-basin
765 transition, Ozark and Ouachita regions, Oklahoma and Arkansas, Okla. *Geol. Surv.*
766 *Guidebook*. 19, 67–79.

- 767 Grayson Jr., R.C., 1984. Morrowan and Atokan (Pennsylvanian) conodonts from the
768 Northeastern margin of the Arbuckle mountains southern Oklahoma. Okla. Geol. Surv.
769 Bull. 136, 41–63.
- 770 Grayson, R.C.Jr.; Merrill, G.K.; Lambert, L.L.; Turner, J. 1989. Phylogenetic Basis for
771 Species Recognition within the Conodont Genus *Idiognathodus*: Applicability to
772 Correlation and Boundary Placement. In: Boardman II, D.R.; Barrick, J.E.; Cocke, J.;
773 Nestell, M.K. (eds.). *Middle and Late Pennsylvanian Chronostratigraphic boundaries in
774 northcentral Texas*. Texas Tech University Studies in Geology, 2, 75–94.
- 775 Grayson, R., C., Jr., 1990. Canyon Creek: a significant exposure of a predominantly
776 mudrock succession recording essentially continuous deposition from the late Devonian
777 through the Middle Pennsylvanian. Okla. Geol. Surv. Guidebook. 27, 85–114.
- 778 Groves, J. R., Grayson Jr., R.C., 1984. Calcareous foraminifers and conodonts from the
779 Wapanucka Formation (Lower – Middle Pennsylvanian), Frontal Ouachita Mountains
780 Southeastern Oklahoma. Okla. Geol. Surv. Bull.136, 81–89.
- 781 Grubbs, R.K., 1984. Conodont platform elements from the Wapanucka and Atoka
782 Formations (Morrowan–Atokan) of the Mill Creek Syncline central Arbuckle Mountains,
783 Oklahoma. Okla. Geol. Surv. Bull.136, 65–79.
- 784 Harris, R. H., Hollingsworth, R. V., 1933. New Pennsylvanian Conodonts from
785 Oklahoma. American Journal of Science, 25(147), p.193-204.
- 786 Heckel, P. H., Boardman, D. R., Barrick, J. E., 2002. Desmoinesian- Missourian regional
787 stage boundary reference position for North America. Canadian Society of Petroleum
788 Geologists.19, 710–724.
- 789 Hu, K.Y., Qi, Y.P., Wang, Q.L., Nemyrovska, T.I., Chen, J.T., 2017. Early Pennsylvanian
790 conodonts from the Luokun section of Luodian, Guizhou, South China. Palaeoworld 26,
791 64–82.
- 792 Kabanov, P.B., Alekseeva, T. V., Alekseeva, V.A., Alekseev, A.O., Gubin, S. V., 2010.
793 Paleosols in late moscovian (carboniferous) marine carbonates of the East European
794 craton revealing “great calcimagnesian plain” paleolandscapes. J. Sediment. Res. 80,
795 195–215.
- 796 Landing, E.; Wardlaw, B.R., 1981. Atokan Conodonts from the Pennsylvanian Outlier of
797 the Michigan Basin. Journal of Paleontology 55(6), 1251-1269.
- 798 Lane, H.R., 1967., Uppermost Mississippian and Lower Pennsylvanian conodonts from
799 the type Morrowan region, Arkansas. Journal of Paleontology 41, 920–942.
- 800 Lane, H.R., 1977., Morrowan (Early Pennsylvanian) conodonts of northwestern Arkansas
801 and north-eastern Oklahoma. In: Sutherland, P.K., Manger, W.L. (Eds.), Mississippian–
802 Pennsylvanian Boundary in Northeastern Oklahoma and Northwestern Arkansas.
803 Oklahoma Geological Survey Guidebook 18, 177–180.
- 804 Lane, H.R., Straka II, J.J., 1974. Late Mississippian and Early Pennsylvanian Conodonts,
805 Arkansas and Oklahoma. Geological Society of America Special Paper 152, 1–144.

- 806 Lane, H. R., Baeseman, J. F., 1982. A Mid-Carboniferous boundary based on conodonts
807 and revised intercontinental correlations. Subcommission on Carboniferous Stratigraphy.
808 6–12.
- 809 Lane, H.R., Yuping, Q., Zhihao, W., Nemyrovska, T.I., Richards, B.C., Keyi, H., 2019.
810 Conodonts from the mid-Carboniferous boundary GSSP at Arrow Canyon, Nevada, USA.
811 *Micropaleontology* 65, 77–104.
- 812 Lemos, V.B., 1990. Assembleia de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas.
813 Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do
814 Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 259.
- 815 Lemos, V.B., Medeiros, R.A., 1996. O Limite Morrowano/Atokano na Bacia do
816 Amazonas, Brasil, com base em conodontes. *Bol. Geociências Petrobras* 10, 165–173.
- 817 Lemos, V.B.; Scomazzon, A.K., 2001. The Carboniferous biochronostratigraphy of the
818 Amazonas Basin, Brazil based on conodonts. *In: Workshop Correlação de Sequências*
819 *Paleozoicas Sul-Americanas*, Melo, J.H.G & Terra, G.S.T (eds.). *Ciência Técnica*
820 *Petróleo*. Seção: Exploração de Petróleo, 20, 131–138.
- 821 Lima, E.A.M., Leite, J.F., 1978. Projeto estudo global dos recursos Minerais da Bacia
822 Sedimentar do Parnaíba. Integração geológico-metalogenética. DNPM-CPRM, Etapa III,
823 Recife 1 (16), 212.
- 824 Lima Filho, F.P., 1991. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí
825 (Pensilvaniano), Bacia do Parnaíba. Dissertação, p. 148.
- 826 Lima Filho, F.P., 1998. A sequência Permo-Pensilvaniana da Bacia do Parnaíba 155.
- 827 Limarino, C.O., Spalletti, L.A., 2006. Paleogeography of the upper Paleozoic basins of
828 southern South America: An overview. *J. South Am. Earth Sci.* 22, 134–155.
- 829 Lima H. 2010. *A sucessão siliciclástica-carbonática Neocarbonífera da Bacia do*
830 *Amazonas, regiões de Monte Alegre e Itaituba (PA)*. Dissertation, mestrado, Instituto de
831 Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 121p.
- 832 Manger W.L. & Sutherland P. K. 1984. Preliminary conodont biostratigraphy of the
833 Morrowan-Atokan boundary (Pennsylvanian), Eastern Llano Uplift Central Texas. *Okla.*
834 *Geol. Surv. Bull.*, **136**: 113–131.
- 835 Matsuda, N.S., 2003. Carbonate Sedimentation Cycle and Origin of Dolomite in the
836 Lower Pennsylvanian Intracratonic Amazon Basin, Northern Brazil. University of Tokyo,
837 Tokyo. PhD Thesis, Department of Earth & Planetary Sciences, p.231.
- 838 Matsuda, N. Winter, W. Wanderley Filho, J. Cancela, A. 2010. Roteiros geológicos– O
839 Paleozoico da borda Sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós, Estado do Pará. *Boletim*
840 *de Geociências da Petrobrás*. 18 (1):123–152.
- 841 Medeiros R.S.P. de, Nogueira A.C.R., Silva Junior J.B.C. da, Sial A.N. 2019. Carbonate-
842 clastic sedimentation in the Parnaíba Basin, northern Brazil: Record of carboniferous
843 epeiric sea in the Western Gondwana. *J. South Am. Earth Sci.* 91, 188–202.

- 844 Medeiros, R. S. P., 2020. O Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba, Norte do Brasil:
845 Implicações Paleoambientais, Paleogeográficas e Evolutivas para o Gondwana Ocidental.
846 Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de
847 Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém, p.151.
- 848 Merrill, G.K., 1973. Pennsylvanian nonplataform Conodont Genera, In:
849 *Spathognathodus*. J. Paleontol. 47 (2), 289–314.
- 850 Merrill, G.K., 1975. Pennsylvanian Conodont biostratigraphy and paleoecology of
851 Northwestern Illinois. Microform publication. Geol. Soc. Am. 3, 130.
- 852 Merrill, G.K., von Bitter, P.H., 1984. Facies and frequencies among Pennsylvanian
853 Conodonts: apparatuses and abundances. Geological society of America special paper.
854 96, 251–261.
- 855 Merrill, G.K., 1999. *Neognathodus* and the species concept in conodont paleontology.
856 *Bolletina della Società Paleontologica Italiana*, 37, 465–473.
- 857 Mesner, J.G., Wooldridge, L.C., 1964. Estratigrafia das bacias paleozóicas e cretáceas do
858 Maranhão. Bol. Téc. PETROBRÁS. v. 7(2), 137 – 164.
- 859 Meyen, S.V., 1970. On the origin and relationship of the main Carboniferous and Permian
860 floras, etc. Gondwana Symposium, South África.
- 861 Nascimento, S., 2004. Análise Bioestratigráfica Baseada em Conodontes de duas
862 Pedreiras de Calcário, Base da Formação Itaituba, Atokano, Bacia do Amazonas, Brasil.
863 Dissertação de Mestrado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal
864 do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 98.
- 865 Nascimento, S. 2008. Conodontes e a cronoestratigrafia da base da seção Pensilvaniana,
866 na região de Itaituba, porção Sul da Bacia do Amazonas, Brasil. Instituto de Geociências,
867 Universidade Federal Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Tese de doutorado, p. 247.
- 868 Nascimento, S., Scmazzon, A.K., Moutinho, L.P., Lemos, V.B., Matsuda, N.S., 2005.
869 Conodont biostratigraphy of the lower Itaituba Formation (Atokan, Pennsylvanian),
870 Amazonas Basin, Brazil. Rev. Bras. Paleontol. 8 (3), 193–202.
- 871 Nascimento, S., Smaniotto, L.P., Souza, P.A., Lemos, V.B., Scmazzon, A.K., 2009.
872 Biochronostratigraphy (conodonts and palynology) from a selected strata of the Itaituba
873 Formation (Pennsylvanian of the Amazonas Basin) at Itaituba, Pará State, Brazil. Pesqui.
874 em Geociencias 36, 37–47.
- 875 Nascimento, S., Scmazzon, A.K., Lemos, V.B., Moutinho, L.P., Matsuda, N.S., 2010.
876 Bioestratigrafia e Paleoecologia com base em conodontes em uma seção de carbonatos
877 marinhos do Pensilvaniano inferior, Formação Itaituba, borda sul da Bacia do Amazonas,
878 Brasil. Pesqui. em Geociênc. (UFRGS. Impresso) 3, 243–256.
- 879 Navas-Parejo, P., 2018. Carboniferous biostratigraphy of Sonora: A Review. Rev. Mex.
880 Ciencias Geol. 35, 41–53.

- 881 Neis, P.A., 1996. Resultados Biocronoestratigráficos das Associações de Conodontes da
882 Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas.
883 Dissertação de Mestrado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal
884 do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.138.
- 885 Nemyrovskaya, T.I., 1982. Conodonts near the Lower/Middle Carboniferous boundary
886 of Donets Basin. In: Ramsbottom, W.H.C., Saunders, B., Owens, B. (Eds.),
887 Biostratigraphic Data for a Mid-Carboniferous Boundary. IUGS Subcommission on
888 Carboniferous Stratigraphy, Biennial Meeting, Leeds, p. 15–18.
- 889 Nemyrovskaya, T.I., 1987. Konodonty nizhnej chasti Bashkirskogo yarusa Donbasa
890 (Conodonts of the Lower Bashkirian of Donbas). Byulletin Moskovskogo Obschestva
891 Ispytatelej Prirody, Geologiya 62 (4), 106–126 (in Russian).
- 892 Nemyrovskaya, T.I., 1999. Bashkirian conodonts of the Donets Basin, Ukraine. *Scr. Geol.*
893 119, 1–115.
- 894 Nemyrovskaya, T.I., Hu, K., 2018. Conodont association of the bashkirian-moscovian
895 boundary interval of the Donets Basin, Ukraine. *Spanish J. Paleontol.* 33, 105–128.
- 896 Oliveira, D.C., Mohriak, W.U. 2003. Jaibaras Trough: an important element in the early
897 tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, northeastern Brazil. *Marine and*
898 *Petroleum Geology.* 20, 351–383.
- 899 Page, W.R., Gray, F., Iriondo, A., Miggins, D., Blodgett, R.B., Maldonado, F., Miller,
900 R.J., 2010. Stratigraphy and Mesozoic-Cenozoic tectonic history of northern Sierra Los
901 Ajos and adjacent areas, Sonora, Mexico. *J. South Am. Earth Sci.* 29, 557–571.
- 902 Qi, Y.P., Lambert, L.L., Nemyrovskaya, T.I., Wang, X.D., Hu, K.Y., Wang, Q.L., 2016.
903 Late Bashkirian and early Moscovian conodonts from the Naqing section, Luodian,
904 Guizhou, South China. *Palaeoworld* 25, 170–187.
- 905 Rexroad, C. B., 1958. Conodonts from the Glen Dean Formation (Chester) of the Illinois
906 Basin. *Illinois State Geological Survey Report of Investigations*, 209, 1–27.
- 907 Rexroad, C. B.; Burton R. C., 1961. Conodonts from the Kinkaid Formation (Chester) in
908 Illinois. *Journal of Paleontology*, 35(6), 1143–1158.
- 909 Rigby, J.F., 1969. A reevaluation of the pre-Gondwana Carboniferous Flora. *Anais da*
910 *Academia Brasileira de Ciências*, 41 (3), 393–413.
- 911 Ritter, S.M., Barrick, J.E., Skinner, M.R., 2002. Conodont sequence biostratigraphy of
912 the Hermosa Group (Pennsylvanian) at Honaker Trail, Paradox Basin, Utah. *J. Paleontol.*
913 76, 495–517.
- 914 Robison, R.A. 1981. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Lawrence, Geological
915 Society of America. Conodonta.
- 916 Savage, N.M., Barkeley, S.J., 1985. Early to Middle Pennsylvanian conodonts from the
917 Klawak Formation and the Ladrones Limestone, southeastern Alaska. *Journal of*
918 *Paleontology*, 59, p. 1451–1465.

- 919 Scomazzon, A.K. 1999. *Refinamento bioestratigráfico com base em conodontes, no*
920 *Pensilvaniano da Bacia do Amazonas- Região do Tapajós*. Dissertação de Mestrado,
921 Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.
922 143.
- 923 Scomazzon, A.K., 2004. Estudo de conodontes em carbonatos marinhos do Grupo
924 Tapajós, Pensilvaniano inferior a médio da Bacia do Amazonas com aplicação de isótopos
925 de Sr e Nd neste intervalo. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências.
926 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 294.
- 927 Scomazzon, A.K., Lemos, V.B., 2005. *Diplognathodus* occurrence in the Itaituba
928 Formation, Amazonas Basin, Brazil. *Rev. Bras. Paleontol.* 8 (3), 203–208.
- 929 Scomazzon, A.K., Moutinho, L.P., Nascimento, S., Lemos, V.B., Matsuda, N.S., 2016.
930 Conodont biostratigraphy and paleoecology of the marine sequence of the Tapajós Group,
931 Early-Middle Pennsylvanian of Amazonas Basin, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 65, 25–
932 42.
- 933 Scotese, C.R., McKerrow, W.S., 1990. Revised world maps and introduction. In:
934 McKerrow, W.S., Scotese, C.R. (Eds.), *Paleozoic Paleogeography and Biogeography*.
935 *Geologic Society Memoir*, 1–21.
- 936 Silva, P., 2019. O mar epicontinental Itaituba na região central da Bacia do Amazonas:
937 paleoambiente e correlação com os eventos paleoclimáticos e paleoceanográficos do
938 carbonífero. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e
939 Geoquímica. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém, p. 163.
- 940 Smaniotto, L.P. 2010. Palinologia de um perfil aflorante da Formação Itaituba
941 (Pensilvaniano Superior, Bacia do Amazonas) em Itaituba, Pará, Brasil. Dissertação de
942 Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande
943 do Sul, Porto Alegre, p. 64
- 944 Stewart, J.H., Amaya-Martínez, R., Stamm, R.G., Wardlaw, B.R., Stanley, G.D., Stevens,
945 C.H., 1997. Stratigraphy and regional significance of Mississippian to Jurassic rocks in
946 Sierra Santa Teresa, Sonora, Mexico. *Rev. Mex. Ciencias Geol.* 14, 115–135.
- 947 Sutherland, P.K., Manger, W.I. (Eds.), 1984. The Atokan Series (Pennsylvanian) and its
948 Boundaries e a Symposium. *Okla. Geol. Surv. Bull.*, 136, p. 198.
- 949 Sutherland, P.K., Grayson Jr., R.C., 1992. Morrowan and Atokan (Pennsylvanian)
950 biostratigraphy in the Ardmore Basin, Oklahoma. *Okla. Geol. Surv. Circ.* 94, 81–99.
- 951 Sweet, W.C. 1988. The Conodonta, Morphology, Taxonomy, Palaeoecology and
952 Evolutionary History of a Long-Extinct Animal Phylum. *Oxford monographs on geology*
953 *and geophysics*, 10, p. 212.
- 954 Torvisk, T.H., Cocks, L.R.M. 2013. Gondwana from top to base in space and time.
955 *Gonwana Research*, 24, 999–1030.
- 956 Vaz, P.T., Andrade, G. De, Ribeiro, J., Filho, W., Antônio, W., Travassos, S., 2007. Bacia
957 do Parnaíba 253–263.

- 958 van den Boogaard, M., 1983. On some occurrences of *Diplognathodus* in Carboniferous
959 strata of Western Europe and North Africa. *Scr. Geol.* 69, 19–29.
- 960 van den Boogaard, M., Bless, M.J.M., 1985. Some conodont faunas from the Aegiranum
961 Marine Band. *Proc. K. Nederl. Akad. van Wet., Ser. B* 88, 133–154.
- 962 von Bitter, P.H., Merrill, G.K., 1990. Effects of variation on the speciation and phylogeny
963 of *Diplognathodus*. *Cour. Forsch. e Inst. Senckenberg* 118, 105–129.
- 964 Veevers, J.J., Powell, C.M., 1987. Late Paleozoic glacial episodes in Gondwanaland
965 reflected in transgressive- regressive depositional sequences in Euramerica. *Geol. Soc.
966 Am. Bull.* 98, 475–487.
- 967 Wang, Z.H., Qi, Y.P., 2003. Upper Carboniferous (Pennsylvanian) conodonts from South
968 Guizhou of China. *Rivista Italiana di Paleontologia* 109, 379–397.
- 969 Whiteside, J.R., Grayson Jr., R.C., 1990. Carboniferous Conodont Faunas, Northern
970 Ouachita Mountains, Oklahoma. In: *Geology and Resources of the Frontal Belt of the
971 Western Ouachita Mountains, Oklahoma.* Okla. Geol. Survey.

CAPÍTULO 4

4.1 CONCLUSÕES

Na sequência carbonática do Membro Superior da Formação Piauí, onde foi realizado esse estudo, foram encontradas as espécies de conodontes *Diplognathodus orphanus*, *Idiognathodus incurvus* e *Adetognathus lautus*, onde ressalta-se que *D. orphanus* foi observado pela primeira vez na Bacia do Parnaíba. Essa espécie, juntamente com *I. incurvus*, tem uma distribuição estratigráfica mundial restrita ao Bashkiriano-Moscoviano, o que auxiliou no refinamento bioestratigráfico da sucessão sedimentar analisada e habitavam em geral, fácies de inframaré. Aliada a presença daquelas duas espécies, a ocorrência de *Adetognathus lautus*, embora seja uma espécie de ampla distribuição estratigráfica, habitava um contexto paleoambiental e paleoecológico de águas rasas com salinidade variável, influxo de siliciclásticos, fácies de energia variável, em ambientes de supra-maré. *D. orphanus* e *I. incurvus* são encontradas nos estratos basais da seção e *A. lautus*, na porção superior da sucessão sedimentar estudada. Assim, a ocorrência dos elementos conodontes aqui analisados no Carbonato Mocambo, que representa a sedimentação marinha da Formação Piauí, auxiliam a corroborar a presença de um mar epicontinental, que durante o Pensilvaniano inundava parte da Bacia do Parnaíba, à oeste de Gondwana e ajudam a confirmar as evidências de raseamento ascendente, condizente com o padrão regional que reflete o fechamento dos mares epicontinentais do Gondwana Ocidental durante o final do Paleozoico.

REFERÊNCIAS

- Abrantes Jr F. R., Nogueira A. C., Soares J. L. 2016. Permian paleogeography of west-central Pangea: Reconstruction using sabkha-type gypsum-bearing deposits of Parnaíba Basin, Northern Brazil. *Sedimentary Geology*, **341**: 175–188.
- Abrantes Jr F. R., Nogueira A. C., Andrade L. S. de, Bandeira J., Soares J. L., Medeiros R. S. 2019. Register of increasing continentalization and palaeoenvironmental changes in the west-central pangea during the Permian-Triassic, Parnaíba Basin, Northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **93**: 294–312.
- Aldridge R.J., Briggs D.E.G., Clarkson E.N.K., Smith M.P. 1986. The affinities of conodonts—new evidence from the Carboniferous of Edinburgh, Scotland. *Lethaia* **19**: 279–291.
- Aldridge R.J. & Theron J.N. 1993. Conodonts with preserved soft tissue from a new Ordovician Konservat- Lagerstätte. *Journal of Micropalaeontology* **12**: 113–119. (a)
- Aldridge R.J., Briggs D.E.G., Smith M.P., Clarkson E.N.K., Clark N.D.L. 1993. The anatomy of conodonts. *Philosophical Transaction of Royal Society of London*, **340**: 405–421. (b)
- Aguiar G. A. de. 1971. Revisão geológica da bacia paleozóica do Maranhão. In: SBG, 25° Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, *Anais[...]* v3, p. 113–122.
- Anelli L. E. 1994. *Pelecípodes da Formação Piauí (Pensilvaniano Médio), Bacia do Parnaíba, Brasil*. MS Dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 148 p.
- Anelli L. E. 1999. *Invertebrados neocarboníferos das formações Piauí (Bacia do Parnaíba) e Itaituba (Bacia do Amazonas): Taxonomia; análise cladística das subfamílias Oriocrassatellinae (Crassatellacea, Bivalvia) e Neospiriferinae (Spiriferoidea, Brachiopoda)*. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 184 p.
- Anelli L.E., Rocha-Campos A.C., Simões M.G. 2006. Pennsylvanian pteriomorphian bivalves from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil. *Journal of Paleontology*, **80** (6): 1125–1141.
- Anelli L. E., Rocha-Campos A. C., Simões M. G., Peck R. L. 2009. Pennsylvanian Heteroconchia (Mollusca, Bivalvia) from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*. **12**(2): 93–112.
- Araújo R.N., Nogueira A.C.R, Bandeira J., Angélica R.S. 2016. Shallow lacustrine system of the Permian Pedra de Fogo formation, western Gondwana, Parnaíba Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Science* **67**:1–14.
- Armstrong H.A. & Brasier M.D. 2005. *Microfossils*. Blackwell Publishing, Oxford. 304 p.
- Boucot A.J., Xu C., Scotese C.R., Morley R.J. 2013. Phanerozoic paleoclimate: An atlas of lithologic indicators of climate. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 11, Map folio, Tulsa, Oklahoma, 30 p.
- Briggs D.E.G., Clarkson E.N.K., Aldridge R.J. 1983. The conodont animal. *Lethaia* **16**, 1–14.

- Campanha V.A. & Rocha-Campos A.C. 1979. Alguns microfósseis da formação Piauí (neocarbonífero), Bacia do Parnaíba. *Boletim IG, Instituto de Geociências, USP*, **10**:57–67.
- Castro, D.L.de, Fuck, R.A., Phillips, J.D., Vidotti, R.M., Bezerra, F.H.R., Dantas, E.L. 2014. Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data, Brazil. *Tectonophysics*, **614**, 128–145.
- Caputo M.V. & Lima E.C. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande. In: SBG, 33 ° Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, 1984. *Anais[...]*. Rio de Janeiro, v.2, p. 740–753.
- Caputo M. V., Reis D.E.S., Barata C.F., Pereira C.L. 2006. Evolução tectônica da Bacia do Parnaíba: qual a influência das orogenias? In: SBG, 6° Simpósio Geol. da Amazônia, *Anais[...]*. Manaus, [5p.] 1 CD-ROM.
- Clark, D.L., Sweet, W.C., Bergström, S.M., Klapper, G., Austin, R.L., Rhodes, F.H.T., Müller, K.J., Ziegles, W., Lindström, M., Miller, J.F., Harris, A.G. 1981. Conodonts. In: *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Geol. Soc. America and Univ. Kansas, **2**:202.
- Daly, M.C., Andrade, V., Barousse, C.A., Costa, R., McDowell, K., Piggott, N., Poole, A.J. 2014. Brazilian crustal structure and the tectonic setting of the Parnaíba basin of NE Brazil: results of a deep seismic reflection profile. *Tectonics*, **33**: 2102–2120
- Daly, M. C., Fuck, R. A., Julià, J., Macdonald, D. I. M., Watts, A. B. 2018. Cratonic Basin Formation: A Case Study of the Parnaíba Basin of Brazil. *Geological Society, London, Special Publications*, **472**, 1–15.
- Della Fávera, J. C. 1990. *Tempestitos na Bacia do Parnaíba*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 560 p.
- De Min, A., Piccirillo, E.M., Marzoli, A., Bellieni, G., Renne, P.R., Ernesto, M., Marques, L.S. 2003. The Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) in Brazil: petrology, geochemistry, ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages, paleomagnetism and geodynamic implications. In: Hames, W.; McHone, J.G.; Renne, P.; Ruppel, C. (Eds.). *The Central Atlantic Magmatic Province: insights from fragments of Pangea*. American Geophysical Union, Washington, USA, 91–134.
- Dino, R.; Playford, G. 2002. Stratigraphic and palaeoenvironmental significance of a Pennsylvanian (Upper Carboniferous) palynoflora from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, northeastern Brazil. *Paleontological Research*, **6**(1): 23–40.
- Edinger, St.J.E.N., Copper, S.P., Risk, H.M.J.; Atmojo, S.W. 2002. Oceanography and reefs of Recent and Paleozoic tropical epeiric seas. *Facies*, **47**: 127–150.
- Góes A. M. O., Souza J. M. P., Teixeira L. B. 1990. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. *Boletim Geociências Petrobras*, **4**: 55–64.
- Góes A.M.O & Feijó F.J. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **8**(1): 57-67.

- Iannuzzi, R., Neregato, R., Cisneros, J.C., Angielczyk, K.D., Rößler, R., Rohn, R., Marsicano, C., Fröbisch, J., Fairchild, T., Smith, R.M.H., Kurzawe, F., Richter, M., Langer, M.C., Tavares, T.M.V., Kammerer, C.F., Conceição, D.M., Pardo, J.D., Roesler, G.A. 2018. Re-evaluation of the Permian macrofossils from the Parnaíba Basin: Biostratigraphic, palaeoenvironmental and palaeogeographical implications. *In: Daly, M. C., Fuck, R. A., Julià, J., Macdonald, D. I. M., Watts, A. B. (eds.) Cratonic Basin Formation: A Case Study of the Parnaíba Basin of Brazil. Geological Society, London, Special Publications, 472, 223–249.*
- Immenhauser A. 2009. Estimating palaeo-water depth from the physical rock record. *Earth-Science Reviews*, **96**: 107–139.
- Koch J.T. & Frank T.D. 2011. The Pennsylvanian-Permian transition in the low-latitude carbonate record and the onset of major Gondwanan glaciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **308**: 362–372.
- Lima E. A. M. & Leite J. F. 1978. *Projeto estudo global dos recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Integração geológico-metalogenética*. Recife, DNPM-CPRM, 212 p. (Etapa III, Relatório Final, 16).
- Lima Filho F.P. 1991. *Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí (Pensilvaniano), Bacia do Parnaíba*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 148 p.
- Medeiros R.S.P. de, Nogueira A.C.R., Silva Junior J.B.C. da, Sial A.N. 2019. Carbonate-clastic sedimentation in the Parnaíba Basin, northern Brazil: Record of carboniferous epeiric sea in the Western Gondwana. *Journal of South American Earth Science*, **91**:188–202.
- Medeiros R. S. P. 2020. *O Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba, Norte do Brasil: Implicações Paleambientais, Paleogeográficas e Evolutivas para o Gondwana Ocidental*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 151 p.
- Mesner J. G. & Wooldridge L. C. 1964. Estratigrafia das bacias paleozóicas e cretáceas do Maranhão. *Bol. Téc. PETROBRÁS*, **7**(2):137–164.
- Milani, E.J. & Thomaz Filho, A. 2000. Sedimentary basins of South America. *In: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D.A. (Eds.). Tectonic evolution of South America*. Congresso Internacional de Geologia, Rio de Janeiro, Brasil, 389–449.
- Mottin, T.E., Vesely, F.F., Rodrigues, M.C.N.L., Kipper, F., Sousa, P.A. 2018. The paths and timing of late Paleozoic ice revisited: New stratigraphic and paleo-ice flow interpretations from a glacial succession in the upper Itararé Group (Paraná Basin, Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **490**: 488–504.
- Moutinho, L.P., Nascimento, S., Scomazzon, A.K., Lemos, V.B. 2016. Trilobites, scolecodonts and fish remains occurrence and the depositional paleoenvironment of the upper Monte Alegre and lower Itaituba formations, Lower – Middle Pennsylvanian of the Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **72**: 76–94.

- Oliveira A.I., Pimentel M.M., Fuck R.A., Oliveira D.C. 2018. Petrology of Jurassic and Cretaceous basaltic formations from the Parnaíba Basin, NE Brazil: correlations and associations with large igneous provinces. In: Daly M.C., Fuck R.A., Julia J., MacDonald D.I.M., Watts A.B. (eds.). *Cratonic basin formation: a case study of the Parnaíba basin of Brazil*. London, UK, p.279–308. (Geological Society Special Publications, 472).
- Oliveira D.C. & Mohriak W.U. 2003. Jaibaras Trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, northeastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, **20**: 351–383.
- Opdyke B.N. & Wilkinson B.H. 1993. Carbonate mineral saturation state and cratonic limestone accumulation. *American Journal of Science*, **293**: 217–234.
- Pedreira da Silva, A.J.; Lopes, R.C.; Vasconcelos, A.M.; Bahia, R.B.C. 2003. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. In: Bizzi, L.A. (Ed.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, CPRM, Brasília, Brasil, **2**: 55–85.
- Pietzner, H., Vahl, J., Werner, H., Ziegler, W. 1968. Chemical Composition and Micromorphology of the Conodonts. *Paleontographica*, **128**, 115–152.
- Purnell M.A. 1995. Microwear on conodont elements and macrophagy in the first vertebrates. *Nature* **374**, 798–800.
- Purnell M.A. & Donoghue P.C. J. 1997. Skeletal architecture and functional morphology of ozarkodinid conodonts. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London, Series B*, **352**:1545–1564.
- Purnell M.A. & Donoghue P.C.J. 1998. Architecture and functional morphology of the skeletal apparatus of Ozarkodinid conodonts. *Palaeobiology* **41**, 57–102.
- Purnell M.A., Donoghue P.C.J., Aldridge R.J. 2000. Orientation and anatomical notation in conodonts. *Journal of Paleontology* **74**: 113–122.
- Purnell M.A. & Jones D. 2012. Quantitative analysis of conodont tooth wear and damage as a test of ecological and functional hypotheses. *Paleobiology* **38**: 605–626.
- Robison R.A. 1981. *Treatise on invertebrate paleontology*. Lawrence, Geological Society of America. Conodonta.
- Santos M. E. C. M. & Carvalho M. S. S. C. 2009. *Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís*. Rio de Janeiro, CPRM, Serviço Geológico do Brasil, p. 10–18.
- Scomazzon A.K. 2004. *Estudo de conodontes em carbonatos marinhos do Grupo Tapajós, Pensilvaniano inferior a médio da Bacia do Amazonas com aplicação de isótopos de Sr e Nd neste intervalo*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 294 p.
- Scomazzon, A.K., Moutinho, L.P., Nascimento, S., Lemos, V.B., Matsuda, N.S. 2016. Conodont biostratigraphy and paleocology of the marine sequence of the Tapajós Group early-middle Pennsylvanian of Amazonas Basin. *Journal of South American Earth Science*. **6**:25-42.

Scotese C.R. & McKerrow W.S. 1990. Revised world maps and introduction. *In*: McKerrow W.S. & Scotese C.R. (eds.). *Palaeozoic palaeogeography and biogeography*. p. 1–21. (Geological Society Memoir).

Sweet W.C. 1988. The Conodonta, Morphology, Taxonomy, Palaeoecology and Evolutionary History of a Long-Extinct Animal Phylum. Oxford monographs on geology and geophysics, **10**, 212 p.

Sweet W.C. & Donoghue P.C.J. 2001. Conodonts: past, present, future. *Journal of Paleontology*, **75**(6): 1174–1184.

Torsvik T.H. & Cocks L.R.M. 2013. Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Research*, **24**: 999–1030.

Vaz P. T., Rezende N. G. A. M., Wanderley Filho J. R. 2007. A Bacia do Parnaíba, *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**(2): 253–263.