

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ZONEAMENTO BIOESTRATIGRÁFICO E ANÁLISE
PALEOAMBIENTAL DO GRUPO TAPAJÓS,
PENSILVANIANO INFERIOR A MÉDIO DA BACIA DO
AMAZONAS, COM BASE NO GÊNERO
*NEOGNATHODUS***

ANDRÉS FELIPE ROJAS MANTILLA

ORIENTADORA – Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon

Porto Alegre, 2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ZONEAMENTO BIOESTRATIGRÁFICO E ANÁLISE
PALEOAMBIENTAL DO GRUPO TAPAJÓS,
PENSILVANIANO INFERIOR A MÉDIO DA BACIA DO
AMAZONAS, COM BASE NO GÊNERO
*NEOGNATHODUS***

ANDRÉS FELIPE ROJAS MANTILLA

ORIENTADORA – Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira – Faculdade de Geologia,
Universidade Federal do Pará

Dra. Geise de Santana dos Anjos Zerfass – Centro de Pesquisas PETROBRAS
(CENPES)

Prof. Dr. Guillermo L. Albanesi – Escuela de Geologia, Universidad Nacional de
Córdoba

Dissertação de Mestrado
apresentada como requisito
parcial para a obtenção do
Título de Mestre em Ciências.

Porto Alegre, 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Mantilla, Andrés Felipe Rojas
ZONEAMENTO BIOESTRATIGRÁFICO E ANÁLISE
PALEOAMBIENTAL DO GRUPO TAPAJÓS, PENNSILVANIANO
INFERIOR A MÉDIO DA BACIA DO AMAZONAS, COM BASE NO
GÊNERO NEOGNATHODUS / Andrés Felipe Rojas Mantilla. --
2021.
155 f.
Orientadora: Ana Karina Scomazzon.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,
2021.

1. Neognathodus. 2. Bacia do Amazonas. 3.
Conodontes. 4. Pensilvaniano. I. Scomazzon, Ana
Karina, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Concluindo esse trabalho, quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram, auxiliaram, motivaram e acreditaram em mim. É um triunfo compartilhado e quero convidar a todos a dividirem comigo esse êxito coletivo.

A minha orientadora, Ana Karina Scomazzon por todas as falas, conselhos e ajuda. Imensamente agradecido por tanto amor e ensinamentos.

A Sara Nascimento, por seus ensinamentos, falas e os diversos momentos divertidos.

A Renata dos Santos Alvarenga por sua ajuda e apoio nesse trabalho.

Ao Grupo BIOCRO NORTE, pela concessão da Bolsa do mestrado e a todos os participantes que me acolheram com muito amor, pelos ensinamentos e me permitir crescer como pessoa e profissional.

Ao professor Afonso Nogueira, um grande amigo por tornar uma saída de campo num momento inesquecível, cheio de ensinamentos geológicos e da vida.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e todos os professores pelas aulas, ensinamentos e experiências que me permitem ser melhor cada dia.

A minha família brasileira, todas as pessoas que me acolheram no Brasil, num momento difícil na vida, com momentos maravilhosos e inesquecíveis fazendo-me sentir em casa, meu segundo lar, Brasil.

A Evandro Jaques, uma pessoa especial, que agora faz parte da minha família, por todos seus ensinamentos, ajuda e paciência que me permitiram a conclusão desse trabalho.

A Eduardo, Gi, Dinha, Alessandra, Tiarli, João Paulo, Ágatha, Cris e Fabi, meus amigos, minha família, só agradecimentos profundos. Obrigado por tudo.

A minha família, meus pais, irmão e todos meus seres queridos que me fizeram a pessoa que sou. Obrigado por tudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE ANEXOS	9
ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
TEXTO INTEGRADOR	13
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
3. ESTADO DA ARTE	15
3.1 Conodontes.....	15
3.2 Gênero <i>Neognathodus</i>	20
3.3 Síntese dos trabalhos realizados na Bacia do Amazonas com base em conodontes	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA	28
5.1 Bacia do Amazonas.....	28
5.2 Grupo Tapajós.....	35
6. RESULTADOS.....	39
6.1 Sistemática Paleontológica.....	39
6.2 Zoneamento Bioestratigráfico	49
7. DISCUSSÕES.....	64
7.1 Análise bioestratigráfica.....	64
7.2 Análise paleoambiental	68
8. CONCLUSÕES.....	79
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ARTIGO	93
COMPLEMENTOS.....	153

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1)** Animal Conodonte. A) Impressão fóssil do animal conodonte; B) Impressão fóssil da região cefálica, com a presença de olhos grandes e elementos conodontes; C) Impressão fóssil, detalhamento da notocorda e miómeros. Extraído de Aldridge et al. (1993) 15
- Figura 3.2)** Distribuição estratigráfica dos elementos conodontes cônicos, ramiformes e pectiniforme ao longo do tempo..... 16
- Figura 3.3)** Animal conodonte. A) Reconstrução do animal conodonte. Modificado de Purnell et al. (1995); B) Representação tridimensional da região cefálica com a posição dos elementos conodontes. Modificado de Gudemand et al. (2011); C) Vista dorsal (de cima) da organização dos elementos conodontes no aparelho alimentar. Modificado de Gudemand et al. (2011); D) Morfologia externa dos elementos conodontes. 1. Pectiniforme, 2. Ramiforme, 3. Cônico. Modificado de Purnell et al. (1995) 17
- Figura 3.4)** Ocorrência dos principais gêneros de conodontes utilizados na bioestratigrafia. Retângulo em vermelho corresponde à distribuição do gênero *Neognathodus*. Modificado de Gradstein et al. (2020)..... 18
- Figura 3.5)** Relações filogenéticas dos animais conodontes com os vertebrados. Evidências de dados moleculares apoiam a monofilia de ciclostomados e mostram que os parentes mais próximos dos vertebrados são os tunicados, não os cefalocordados. Modificado de Gudemand et al. (2011) 19
- Figura 3.6)** Carta estratigráfica do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas com as biozonas de conodontes. Modificado de Scorzozza et al. (2016)..... 26
- Figura 5.1)** A. Mapa da Bacia do Amazonas. Apresenta a localização dos poços trabalhados. O quadrado amarelo corresponde à área dos afloramentos na região de Itaituba. B. Mapa de localização dos afloramentos na plataforma Sul: Mina de ITACIMPASA, Mina de CALMINAS e os afloramentos ao longo do Rio Tapajós. Extraído de Matsuda et al. (2007) 29
- Figura 5.2)** Compartimentação tectônica da Bacia do Amazonas e seus quatro blocos estruturais I, II, III, IV, segundo Wanderly Filho (1991). Modificado de Matsuda et al. (2010) 31
- Figura 5.3)** Carta estratigráfica com o preenchimento sedimentar da Megasequência Paleozoica da Bacia do Amazonas. Modificado de Cunha et al. (2007) 33
- Figura 5.4)** Carta estratigráfica do Grupo Tapajós, mostrando as palinozonas correspondentes às formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá (Modificado de Matsuda et al., 2004)..... 37
- Figura 6.1)** Conodontes da Bacia do Amazonas..... 47
- Figura 6.2)** Distribuição de *Neognathodus symmetricus*. A) Distribuição das ocorrências de *N. symmetricus* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos amarelos. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. symmetricus* representada pela área em roxo (As profundidades não estão em escala real. D) Mapa de ocorrências de *N. symmetricus*..... 50

Figura 6.3) Distribuição de *Neognathodus bassleri*. A) Distribuição das ocorrências de *N. bassleri* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos rosas. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. bassleri* representada pela área em roxo (As profundidades não estão em escala real. D) Mapa de ocorrências de *N. bassleri*.....51

Figura 6.4) Distribuição de *Neognathodus medadultimus*. A) Distribuição das ocorrências de *N. medadultimus* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos azuis. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. medadultimus* representada pela área em azul. As profundidades não estão em escala real. D) Mapa de ocorrências de *N. medadultimus*.....52

Figura 6.5) Distribuição de *Neognathodus roundyi*. A) Distribuição das ocorrências de *N. roundyi* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos roxos. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. roundyi* representada pela área em laranja (As profundidades não estão em escala real. D) Mapa de ocorrências de *N. roundyi*.....53

Figura 6.6) Distribuição de *Neognathodus atokaensis*. A) Distribuição das ocorrências de *N. atokaensis* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos roxos. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. atokaensis* representada por a área em amarelo (As profundidades não estão em escala real. D) Mapa de ocorrências de *N. atokaensis*.....54

Figura 6.7) Distribuição de *Neognathodus bothrops*. A) Distribuição das ocorrências de *N. bothrops* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos azuis. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. bothrops* representada pela área em rosa (As profundidades não estão em escala real. D) Mapa de ocorrências de *N. bothrops*.....55

Figura 6.8) Perfil composto da seção aflorante na plataforma sul da bacia, com base nos afloramentos da beira do Rio Tapajós e pedreiras ITACIMPASA e CALMINAS.....56

Figura 6.9) Correlação das seções realizadas a partir dos 18 poços analisados, localizados ao longo da bacia nas Plataformas e na Calha central. Os números na esquerda de cada poço correspondem às profundidades da seção estudada. A porção apresentada nos poços é referente à seção amostrada para conodontes, correspondendo ao topo da Formação Monte Alegre, Formação Itaituba e Nova Olinda.....57

Figura 6.10) Distribuição vertical do gênero *Neognathodus* nos poços estudados, - compreendendo a seção marinha do Grupo Tapajós- topo da Formação Monte Alegre, Formação Itaituba e base da Formação Nova Olinda.....58

Figura 6.11) Distribuição estratigráfica dos táxons analisados e as biozonas estabelecidas com base nesses táxons. Zona de intervalo de aparecimento de *N. symmetricus/N. bassleri*. Zona de intervalo de aparecimento de *N. bassleri* e desaparecimento de *N. symmetricus*. Zona de amplitude de táxon de *N. atokaensis* e Zona de intervalo de desaparecimento de *N. atokaensis/N. bassleri*.....59

Figura 6.12) Distribuição vertical dos conodontes na seção composta dos afloramentos.....63

Figura 7.1) Distribuição mundial dos táxons de *Neognathodus* dos táxons analisados neste trabalho. As linhas correspondem à distribuição total das espécies e os pontos correspondem a uma única ocorrência. Foram utilizados como base os trabalhos mais atuais das diversas regiões estudadas. *N.*=*Neognathodus*.....69

Figura 7.2) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Estrelas vermelhas correspondem as ocorrências de *Neognathodus* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).....70

Figura 7.3) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus symmetricus* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).....71

Figura 7.4) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus bassleri* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).72

Figura 7.5) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus atokaensis* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014)73

Figura 7.6) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus medadulimus* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).....74

Figura 7.7) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus roundyi* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).....75

Figura 7.8) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus bothrops* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).....76

Figura 7.9) Biozoneamento mundial do Bashkiriano e Moscoviano a partir de conodontes. *D.*=*Diplognathodus*, *I.*= *Idiognathodus*, *Id.*=*Idiognathoides*, *N.*=*Neognathodus*, *S.*=*Streptognathodus*, *Sw.*=*Swadelina*. Modificado de Hu et al. (2020).....77

Figura 7.10) Seção transversal hipotética do mar Pensilvaniano no *Midcontinent* americano. Seção superior apresenta as fácies sedimentares e os padrões de circulação. O diagrama inferior apresenta a distribuição inferida do *habitat* dos conodontes. Modificado de Sweet (1998)78

LISTA DE ANEXOS

Tabela 1) Dados litoestratigráficos, de poço e conodontes analisados neste estudo.....	153
Tabela 2) Ocorrências das espécies de Neognathodus, localização (poço/afloramento), quantidades e publicação.....	155

ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado está estruturada na forma de artigo submetido em periódico científico internacional, Qualis-CAPES A2, segundo as normas do Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e sua organização compreende as seguintes partes principais:

TEXTO INTEGRADOR

Introdução com apresentação do tema e descrição do objeto da pesquisa, objetivos, materiais e métodos, estado da arte e contexto geológico da área de estudo. Também são apresentados os resultados com os dados gerados, as tabelas das espécies analisadas, os mapas de ocorrência, a sistemática paleontológica e as biozonas estabelecidas. E ainda, discussões bioestratigráficas e paleoambientais, as conclusões e referências bibliográficas.

ARTIGO

Compreende o manuscrito intitulado: ***The conodont genus Neognathodus Dunn, 1970 Lower to Middle Pennsylvanian, Amazonas Basin, in the Western Gondwana: biostratigraphic and paleoenvironmental analysis*** desenvolvido pelo primeiro autor durante o período do mestrado e submetido para publicação na revista Marine Micropaleontology.

COMPLEMENTOS

Compreende as tabelas referente as informações sobre os conodontes na Bacia do Amazonas.

RESUMO

Os conodontes representam um grupo importante como ferramenta bioestratigráfica, sua abundância e ampla ocorrência mundial torna-os fósseis chaves permitindo o reconhecimento de mais de 240 biozonas inter-regionais ao longo dos 300 milhões de anos de sua história até sua extinção. *Neognathodus* é um gênero cosmopolita, independente das fácies e apresenta ampla variabilidade morfológica no tempo, tornando-os ótimos marcadores bioestratigráficos e, portanto, utilizado no zoneamento do Pensilvaniano Inferior a Médio. A partir da compilação das publicações no Laboratório de Conodontes e Foraminíferos -LACONF, foram analisados táxons de conodontes em 18 poços perfilados de NW-SE abrangendo a Plataforma Norte, Calha central e Plataforma Sul, assim como amostras de afloramentos na beira do rio Tapajós e nas pedreiras CALMINAS e ITACIMPASA, abrangendo litoestratigráficamente o topo da Formação Monte Alegre, a Formação Itaituba e a base da Formação Nova Olinda - porção marinha do Grupo Tapajós. Foram analisados espécimes de *Neognathodus* a partir de imagens de estereomicroscópio e MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) reconhecendo seis espécies: *N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. bothrops* e *N. roundyi*. Elaborou-se mapas de distribuição, mapas de espessuras e modelamento das ocorrências verticais nos poços trabalhados. Com base no reconhecimento dos diferentes táxons de *Neognathodus* a partir dos poços analisados, foram determinadas quatro biozonas: três de intervalo, (aparecimento) *N. symmetricus*/*N. bassleri*, (aparecimento/desaparecimento) *N. bassleri*/*N. symmetricus*, (desaparecimento) *N. atokaensis*/*N. bassleri* respectivamente relacionadas as formações Monte Alegre, Itaituba e porção inferior da Formação Nova Olinda e uma biozona de amplitude do táxon *N. atokaensis* na Formação Itaituba; atribuindo uma idade Bashkiriano médio-Moscoviano médio para a sequência marinha do Grupo Tapajós. Paleoecologicamente, *Neognathodus* é considerado um gênero de ambientes neríticos, de águas quentes e oxigenadas tanto em contextos proximais de alta energia como em ambientes mais distais de menor energia, águas um pouco mais profundas e periodicamente afetadas por tempestades.

Palavras-chave: Bacia do Amazonas, *Neognathodus*, Conodonte, Pensilvaniano.

ABSTRACT

Conodonts represent an important group as a biostratigraphic tool. Their abundance and wide occurrence worldwide make them key fossils allowing the recognition of more than 240 inter-regional biozones over the 300 million years of their history until their extinction. *Neognathodus* is a cosmopolitan genus, independent of facies and has wide morphological variability over the time, making them excellent biostratigraphic markers for the early-to-middle Pennsylvanian zoning. From the compilation of publications in the Laboratory of Conodonts and foraminifera -LACONF, conodont taxa were analyzed in 18 NW-SE profiled wells covering the North Platform, Central area and South Platform, as well as samples of outcrops on the edge of the Tapajós River and in the CALMINAS and ITACIMPASA quarries, lithostratigraphically covering the top of Monte Alegre Formation, Itaituba Formation and the base of Nova Olinda Formation – marine portion of the Tapajós Group. *Neognathodus* specimens were analyzed using stereomicroscope and SEM (Scanning Electronic Microscope) images, recognizing six species: *N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. medadulimus*, *N. atokaensis*, *N. bothrops* and *N. roundyi*. Distribution maps, thickness maps and modeling of vertical occurrences in the worked wells were elaborated. Based on the recognition of different *Neognathodus* taxa from the analyzed wells, four biozones were determined: three of interval appearance of *N. symmetricus*/*N. bassleri*, disappearance of *N. bassleri*/*N. symmetricus* and appearance of *N. atokaensis*/*N. bassleri* respectively related to the Monte Alegre, Itaituba formations and the lower portion of the Nova Olinda Formation and one biozone of taxon range zone of the *N. atokaensis* in the Itaituba Formation; assigning a middle Bashkirian-middle Moscovian age to the studied marine sequence of the Tapajós Group. Paleoecologically, *Neognathodus* is considered of neritic, warm and oxygenated water environments both in high energy proximal contexts and in lower energy more distal environments, slightly deeper waters and periodically affected by storms.

Keywords: Amazonas Basin, *Neognathodus*, Conodont, Pennsylvanian.

TEXTO INTEGRADOR

1. INTRODUÇÃO

Conodontes são microvertebrados marinhos que viveram desde o Cambriano superior até o Triássico, fósseis úteis para bioestratigrafia sendo ótimos fósseis guia durante a Era Paleozoica. Apresentam ampla ocorrência mundial e grande variação morfológica no tempo. Além disso, são importantes indicadores paleoecológicos do meio onde viviam e peças fundamentais no entendimento dos primeiros vertebrados.

O estudo de conodonte na Bacia do Amazonas começou com os primeiros trabalhos de Fúlfaro (1965), Araújo & Rocha-Campos (1969), Tengan et al. (1976), Rocha-Campos & Archangelsky (1986), Rocha-Campos et al., (1988) Lemos & Medeiros (1989). Na década de 1990 com as pesquisas iniciais de Lemos (1990) com um objetivo exploratório publicando as primeiras ocorrências na seção marinha Pensilvaniana. Estudos taxonômicos em conodontes, referentes à Bacia do Amazonas e Solimões, foram realizados em Lemos (1992a; b), estabelecendo que os estratos analisados, de acordo com as associações encontradas, seriam do Pensilvaniano.

Na década dos 2000, iniciou-se os primeiros ensaios isotópicos. Nesse período foram realizadas publicações de conodontes em termos bioestratigráficos e paleoecológicos, ampliando-se o conhecimento na Bacia do Amazonas.

No Pensilvaniano a taxa de provincialismo foi muito elevada e grupos fósseis como os conodontes foram afetados pelas condições do meio onde habitaram. A classificação taxonômica dos conodontes é baseada na morfologia externa dos elementos, por tanto, elementos de uma mesma espécie em regiões paleogeográficas diferentes podem ter leves variações em resposta do meio e por conseguinte, apresentar um desafio na classificação dos gêneros de conodontes nas bacias sedimentares.

Gêneros como *Idiognathodus*, *Diplognathodus*, *Streptognathodus*, *Idiognathoides* e *Neognathodus* tem sido importante no zoneamento estratigráfico da sequência marinha no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas. Porém, *Neognathodus* é um gênero utilizado para o zoneamento do Bashkiriano-

Moscoviano devido a sua ampla ocorrência, grande variação morfológica e fácil reconhecimento.

Os elementos conodontes da Bacia do Amazonas tem apresentado afinidades com os espécimes do *Midcontinent* norte-americano, porém, diferenças paleoambientais provavelmente levam a apresentar diferenças morfológicas. Um detalhamento na análise dos gêneros encontrados e as ocorrências deles ajudarão num melhor refinamento bioestratigráfico e paleoambiental das pesquisas já feitas até hoje.

Por tanto, é necessário um detalhamento das ocorrências de *Neognathodus* na Bacia do Amazonas cujo resultado ajudará num melhor entendimento do gênero, analisando suas características morfológicas principais, assim como também suas ocorrências laterais e verticais. A identificação de *Neognathodus* detalhadamente permitirá um refinamento na bioestratigrafia já feita até agora e um melhor entendimento da evolução e condições paleoambientais.

Neste trabalho, com base nas publicações realizadas no Laboratório de Conodontes e Foraminíferos -LACONF, vão ser analisados os conodontes do gênero *Neognathodus* a partir de 18 poços e 6 afloramentos para entender melhor sua distribuição na Bacia do Amazonas e utiliza-los como ferramenta bioestratigráfica no zoneamento da seção marinha do Pensilvaniano do Grupo Tapajós, na Bacia do Amazonas.

2. OBJETIVOS

Realizar o reconhecimento abrangente das espécies de *Neognathodus*, revisando seu alcance bioestratigráfico e paleoambiental na sucessão marinha pensilvaniana do Grupo Tapajós na Bacia do Amazonas.

Objetivo específicos

Mapear as ocorrências de *Neognathodus* na Bacia do Amazonas com base em amostras de poços e afloramentos.

Definir as características chave no reconhecimento das diferentes espécies de *Neognathodus* na Bacia do Amazonas.

Correlacionar as seções de poços e afloramentos a partir da distribuição vertical de *Neognathodus*.

Definir biozonas com base em *Neognathodus* na Bacia do Amazonas a partir de análise de poço e afloramento.

3. ESTADO DA ARTE

3.1 Conodontes

Nesse trabalho, a terminação animal conodonte é utilizada para referir-se ao organismo completo, enquanto o termo conodonte/elemento conodonte é usado para referir-se as estruturas biomineralizadas, comumente preservadas como fósseis.

Características Gerais

Os animais conodontes segundo Sweet (1988) são um grupo extinto de cordados primitivos, exclusivamente marinhos, organismos de corpo mole, alongados, bilateralmente comprimidos e simétricos em forma de enguia com olhos grandes, presença de estruturas preservadas como notocorda e miômeros, e apresentando tamanhos de até 5 centímetros de comprimento (**Fig. 3.1**).

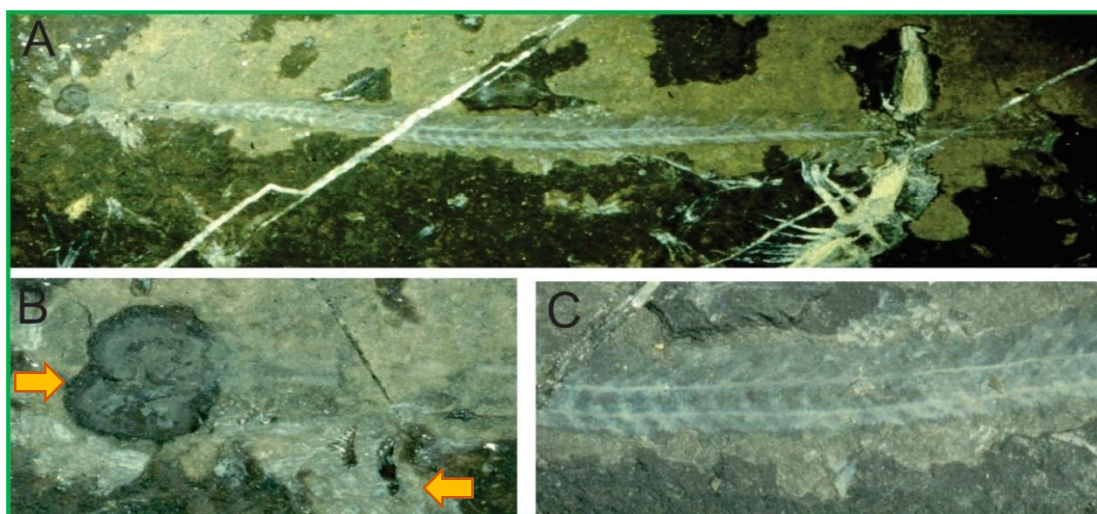


Figura 3.1) Animal Conodonte. A) Impressão fóssil do animal conodonte; B) Impressão fóssil da região cefálica, com a presença de olhos grandes e elementos conodontes; C) Impressão fóssil, detalhamento da notocorda e miômeros. Extraído de Aldridge et al. (1993).

Os animais conodontes, foram predadores, escavadores, livres natantes e, provavelmente, se locomoviam com a boca aberta para a captura de suas presas. Eles habitaram os oceanos antigos por quase 300 milhões de anos (Sweet, 1988) desde o final do Cambriano até o final do Triássico (**Fig. 3.2**). Um intervalo da história da Terra durante o qual houve perturbações físicas e químicas fundamentais no sistema oceano-atmosfera (Ferretti et al., 2020).

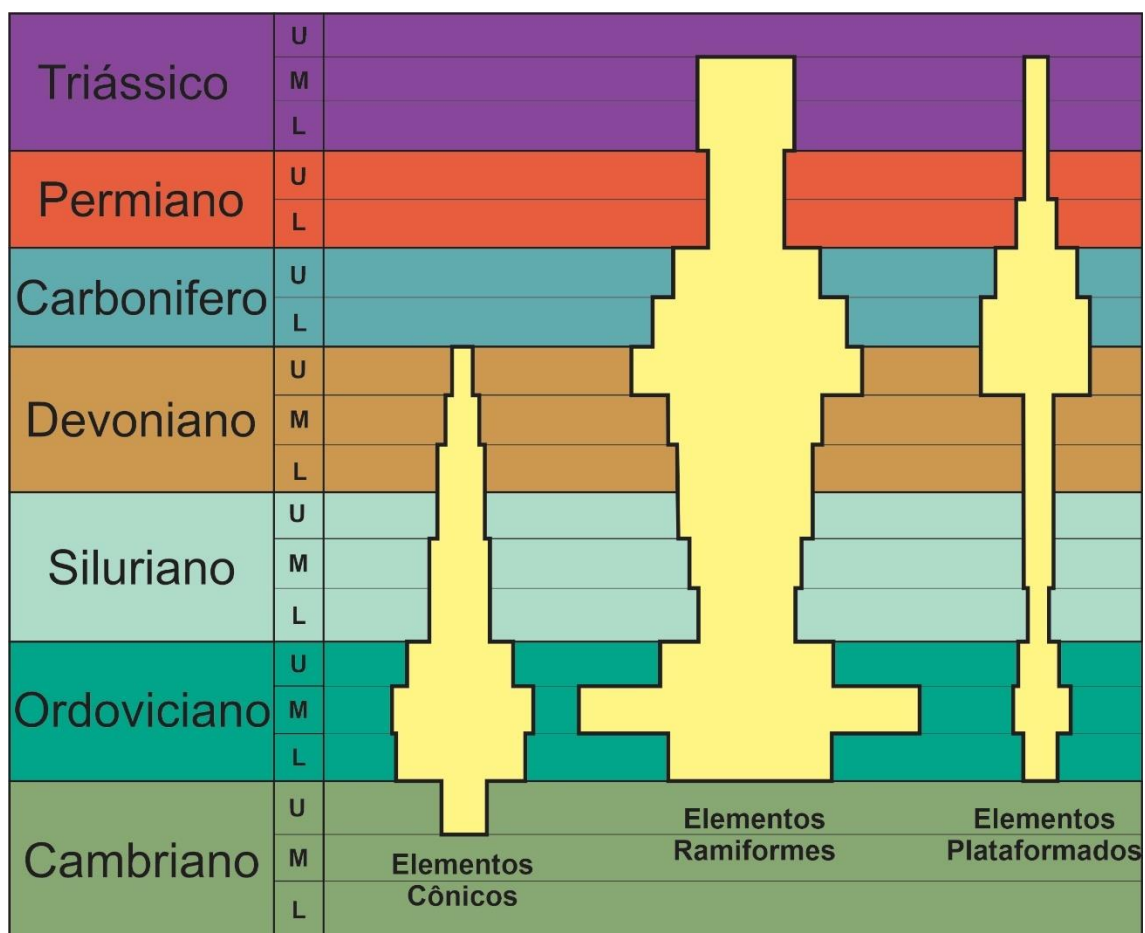


Figura 3.2) Distribuição estratigráfica dos elementos conodontes cônicos, ramiformes e pectiniforme ao longo do tempo.

A única porção mineralizada destes organismos é composta por peças denticuladas, denominadas elementos conodontes que em conjunto compunham seu aparelho alimentar (**Fig. 3.3**). Segundo Pietzner et al. (1968) estas peças são compostas de Francolita, um carbonato de apatita onde os íons OH e o CO₃ são substituídos por fosfatos. O cálcio na estrutura cristalina da bioapatita dos elementos conodontes tem raio iônico com tamanho compatível com alguns elementos podendo ser substituído por Pb²⁺, Ba²⁺, Sr²⁺, Mn²⁺, Na⁺,

Y^{3+} , Bi^{3+} e cátions de terras raras; o fósforo pode ser substituído por As^{5+} , V^{5+} , Si^{4+} , S^{6+} , B^{3+} e C^{4+} (Pasero et al., 2010).

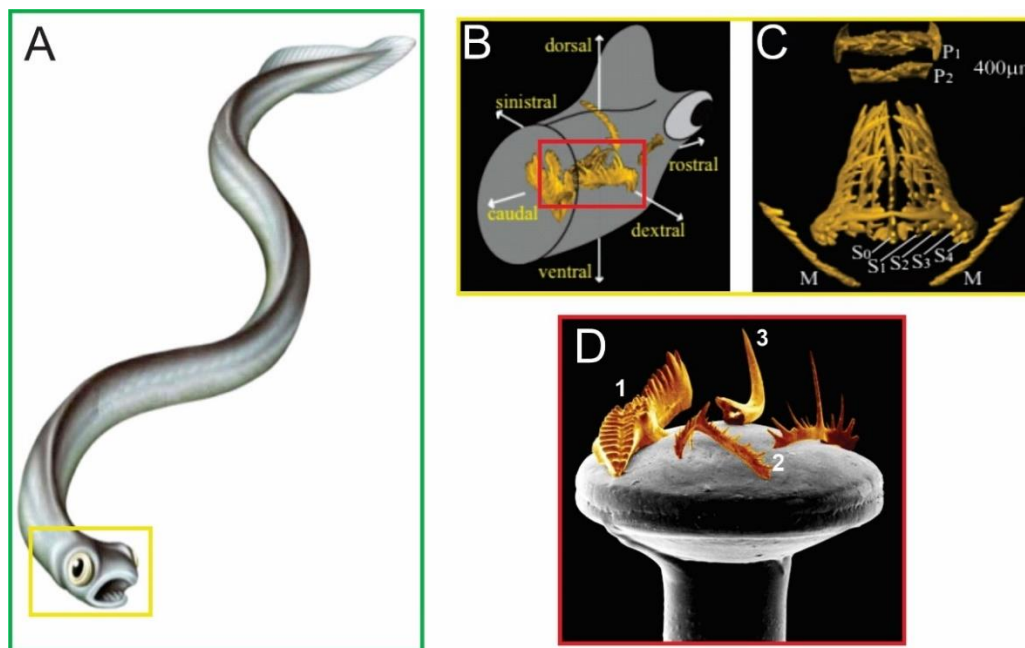


Figura 3.3) Animal conodonte. A) Reconstrução do animal conodonte. Modificado de Purnell et al. (1995); B) Representação tridimensional da região cefálica com a posição dos elementos conodontes. Modificado de Gudemand et al. (2011); C) Vista dorsal (de cima) da organização dos elementos conodontes no aparelho alimentar. Modificado de Gudemand et al. (2011); D) Morfologia externa dos elementos conodontes. 1.Pectiniforme, 2. Ramiforme, 3. Cônico. Modificado de Purnell et al. (1995).

Os elementos conodontes têm ampla ocorrência mundial e uma ótima variação morfológica no tempo, tornando-os excelentes fósseis índices no zoneamento bioestratigráfico do Paleozoico tendo mais de 150 biozonas no mundo (**Fig. 3.4**). A bioestratigrafia de conodontes foi parte integrante da evolução ou ampliação na quimioestratigrafia, a integração de pontes bioestratigráficas e quimioestratigráficas criaram um robusto arcabouço cronoestratigráfico. No entanto, sem a bioestratigrafia com base em conodontes o refinamento dessas excursões isotópicas não seria capaz de ser correlacionadas ou restritas (Walasek et al., 2018). Adicionalmente, os conodontes são bons indicadores das condições paleoambientais do meio onde viviam, conhecendo-se gêneros que habitaram águas mais rasas, oxigenadas e com maior variação de salinidade, enquanto outros foram típicos de águas mais profundas, ambientes redutores e salinidade normal (Sweet, 1998).

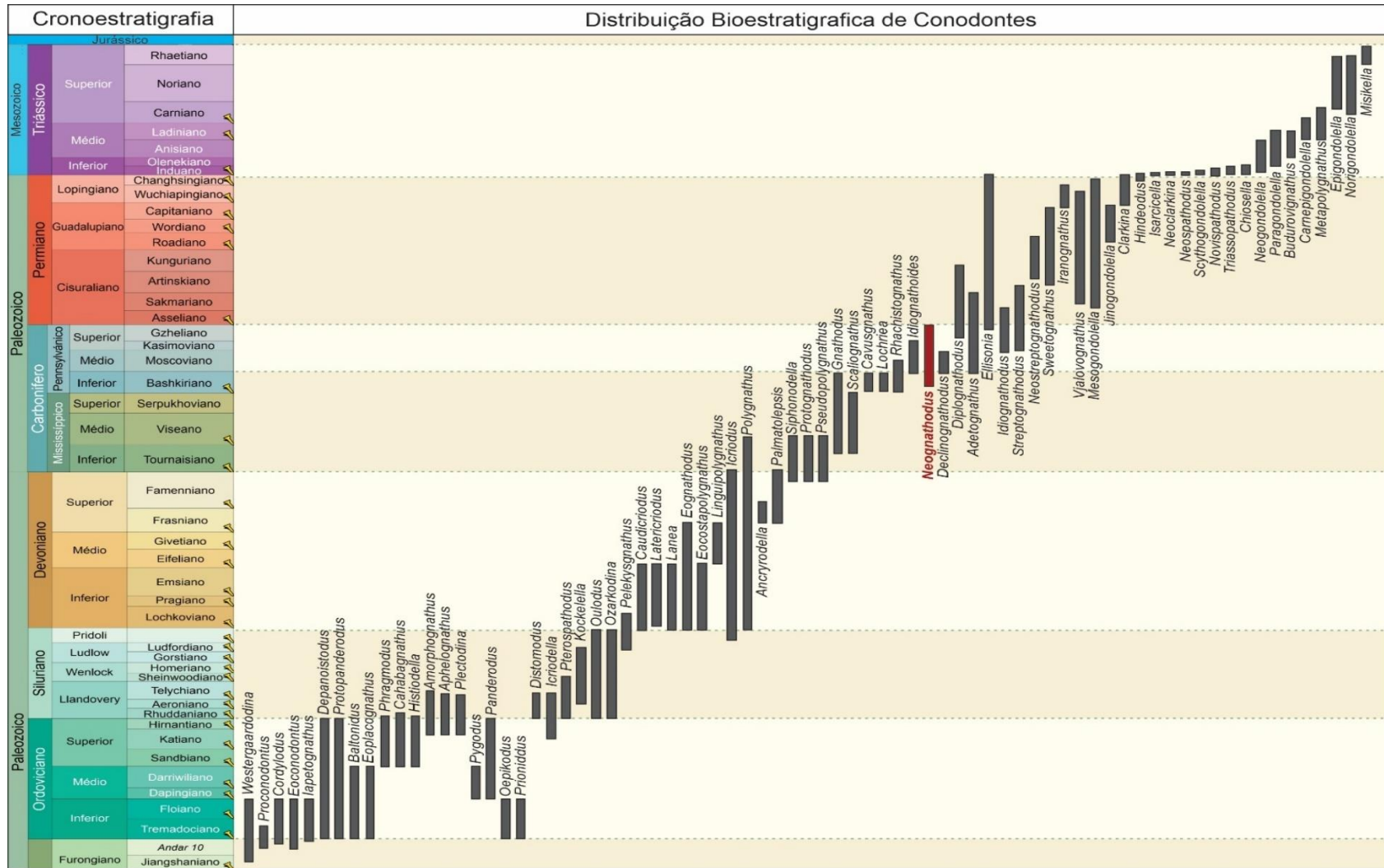


Figura 3.4) Ocorrência dos principais gêneros de conodontes utilizados na bioestratigrafia. Retângulo em vermelho corresponde à distribuição do gênero *Neognathodus*. Modificado de **Gradstein et al. (2020)**.

Em trabalhos como Trotter et al. (2008), com base em dados geoquímicos de conodontes foi possível vincular diretamente as mudanças na temperatura do oceano com as mudanças na diversidade. Através da comparação de curvas do nível do mar, registros de isótopos de carbono e variações nas paleotemperaturas da superfície do mar (SST), com base no isótopo $\delta^{18}\text{O}$ nas bioapatitas é indicativo de, por exemplo, um resfriamento global.

Por outro lado, estes organismos são peças fundamentais nas discussões sobre a idade dos primeiros vertebrados. Diversos estudos focaram na composição química cristalina dos elementos conodontes para apoiar ou refutar a relação dos conodontes e os vertebrados. Nemliher & Kallaste (2012) através da análise de difração de raios X da apatita em conodonte concluíram que se assemelham às de vertebrados recentes. Outros estudos focaram nas reconstruções dos aparelhos alimentares dos animais conodontes na busca de estruturas semelhantes entre os animais conodontes e os organismos vivos não mandíbulados. Trabalhos como Goudemand et al. (2011) utilizando microtomografia de raios X *synchrotron* sugerem a presença de uma cartilagem lingual em forma de polia semelhante à dos ciclostomados (vertebrados sem mandíbulas como as mixinas e lampreias) no aparelho alimentar dos animais conodontes o que reforça a relação com os primeiros vertebrados (**Fig. 3.5**).

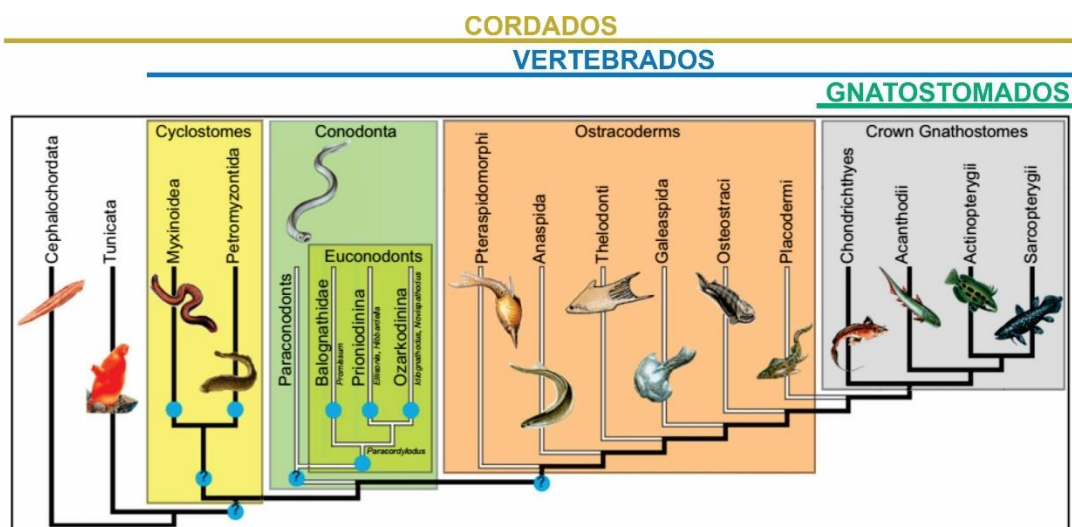


Figura 3.5) Relações filogenéticas dos animais conodontes com os vertebrados. Evidências de dados moleculares apoiam a monofilia de ciclostomados e mostram que os parentes mais próximos dos vertebrados são os tunicados, não os cefalocordados. Modificado de Goudemand et al. (2011).

3.2 Gênero *Neognathodus*

Neognathodus é um gênero cujos elementos são pectiniforme, apresentando uma lâmina livre longa, maior que a metade do comprimento do elemento, encontrando-se com a plataforma central ou subcentralmente. A plataforma é um pouco reduzida ou ausente na margem externa, com parapeitos ou as costelas transversais que flanqueiam um ou ambos os lados da plataforma. A carena se estende para ou próximo ao final posterior. As costelas adcarinais são profundas e a cavidade basal é larga, profunda e assimétrica (Dunn, 1970).

Segundo Merrill, (1999) *Neognathodus* é um gênero chave, provavelmente um dos fósseis mais proeminente para a bioestratigrafia em rochas marinhas do Pensilvaniano Inferior a Médio. *Neognathodus* foi um organismo cosmopolita, independente das fácies e apresenta ampla variabilidade morfológica no tempo, tornando-os ótimos marcadores bioestratigráficos.

Mundialmente, *Neognathodus* apresenta ocorrências na América do Norte, América do Sul, Europa e Ásia, sendo correlacionado a sequências marinhas do Pensilvaniano, atribuídas a ambientes neríticos, de águas quentes e oxigenadas, tendo uma distribuição desde *foreshore*, num contexto ambiental mais proximal, até *offshore*, ambientes mais distais (Sweet, 1988).

Espécies de *Neognathodus* tem sido utilizadas para o zoneamento do Bashkiriano e Moscoviano (Morrowano, Atokano e Desmoinesiano) definindo pelo menos 9 biozonas com base em espécies como *N. higginsi*, *N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. nataliae*, para o Morrowano, *N. atokaensis*, *N. colombiensis*, para o Atokano, *N. caudatus*, *N. asymmetricus* e *N. roundyi* para o Desmoinesiano (Barrick et al., 2013).

3.3 Síntese dos trabalhos realizados na Bacia do Amazonas com base em conodontes

A Bacia do Amazonas é, até hoje, a mais estudada em termos de conodontes, onde se tem como foco principal o Pensilvaniano, estudando-se o Grupo Tapajós, na qual se tem delimitado andares como Bashkiriano e Moscoviano,

observando-se que as condições ambientais nesse período eram as mais favoráveis para a ocorrência e preservação desses organismos.

O primeiro trabalho feito sobre conodontes no Brasil foi publicado por Fúlfaro (1965), descreveu conodontes nos afloramentos do Rio Tapajós, na Bacia do Amazonas, e com base em *Idiognathodus cf. acutus* Ellison datou as rochas sedimentares descritas como carboníferas.

Araújo & Rocha-Campos (1969) estudaram quatro testemunhos de sondagem, correspondentes a calcários da Formação Itaituba, através dos conodontes foi indicado o período Carbonífero para essas rochas.

Tengan et al. (1976), estudando os conodontes das Formações Itaituba e Nova Olinda, encontraram gêneros plataformados como *Cavusgnathus*, *Idiognathodus*, *Gnathodus* e *Streptognathodus*, comparados com conodontes de idades eo-mesopensilvaniana dos Estados Unidos, respectivamente Bashkiriano inferior e Bashkiriano superior-Moscoviano inferior. Além dos dados bioestratigráficos também obtiveram inferências paleocológicas, relacionando-os a faunas de ambiente marinho de águas rasas e quentes.

Na década de 80, Rocha-Campos & Archengelsky (1986) publicaram trabalho sobre rochas Carboníferas na América do Sul. A região onde se localiza o território brasileiro corresponderia à época do Carbonífero, dividida em dois domínios, Tethyano e Gondwana. A Bacia do Amazonas estaria no domínio Tethyano, onde as faunas são comparáveis àquelas faunas no *Midcontinent* Americano.

O estudo do Índice de alteração de cor em conodontes (IAC), foi efetuado pela primeira vez no Brasil, por Rocha-Campos et al. (1988). O IAC foi determinado em amostras de subsuperfície e de afloramentos das Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda. Com os dados obtidos, foi construído um mapa de IAC obtendo-se valores entre 1 a 5 de acordo com a classificação de Epstein et al. (1997) apresentando-se um incremento do índice das margens para o centro da bacia. Tal variação pode ter sido causada pelo soterramento do pacote sedimentar paleozoico, atualmente, em parte erodido. Porém, a variação do IAC

foi atribuída principalmente ao extenso magmatismo básico ocorrente na bacia durante o Mesozoico.

Lemos & Medeiros (1989) estudaram conodontes extraídos de carbonatos marinhos de fase transgressiva e salinidade normal, da Bacia do Amazonas. Se observou que esses microfósseis ocorriam somente nessas fases transgressivas, diminuindo em direção a parte superior da sequência carbonífera e ausentes nas fases regressivas, ocasionadas pela tendência da bacia ao isolamento e à precipitação de evaporitos. Com base nos conodontes *Rhachistognathodus muricatus*, *Neognathodus symmetricus* e *Idiognathodus suberectus*, inferiram idade Bashkiriano inferior para o topo da Formação Monte Alegre e base da Formação Itaituba e com base em *Diplognathodus orphanus*-*Diplognathodus coloradoensis*, associados a *Idiognathodus magnificus*, estipularam idade Atokana para a porção média-superior da Formação Itaituba.

Na década de 90, os trabalhos de conodontes iniciaram com Lemos (1990a;b), estudando as sequências carboníferas das Bacias do Amazonas e Solimões. A partir dos conodontes, foram estabelecidas três biozonas na seção carbonífera: Zona *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathodus muricatus* na Formação Monte Alegre e parte inferior da Formação Itaituba com idade Bashkiriano inferior; zona *Diplognathodus orphanus/Diplognathodus coloradoensis* na parte média e superior da Formação Itaituba de idade Bashkiriano superior-Moscoviano inferior e a zona de *Streptognathodus elongatus/Idiognathodus ellisoni* na base da Formação Nova Olinda de idade Gzheliana.

Também foram desenvolvidos estudos taxonômicos em conodontes na Bacia do Amazonas e Solimões por Lemos (1992a; b) estabelecendo que os estratos analisados, de acordo com as associações encontradas, seriam do Pensilvaniano.

Lemos & Medeiros (1996a) estudaram conodontes encontrados em amostras de subsuperfície com o objetivo de um possível reconhecimento do limite Morrowano/Atokano. Através das formas encontradas, foram estabelecidas duas zonas de associação relacionadas ao Pensilvaniano, zona de *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathodus muricatus* na Formação Itaituba com uma

idade Bashkiriano inferior, e a zona *Diplognathodus orphanus/Diplognathodus coloradoensis*, associados a *Idiognathodus magnificus* na Formação Itaituba de idade Bashkiriano superior-Moscoviano inferior observando-se que o limite Morrowano/Atokano, na Bacia do Amazonas se encontra na porção inferior da Formação Itaituba.

Duas biozonas novas foram estabelecidas por Neis (1996) para a Formação Itaituba, zona *Rhachistognathodus muricatus/Idiognathoides ouachitensis* de idade Bashkiriano inferior e zona *Diplognathodus* spp. de idade Bashkiriano superior-Moscoviano inferior.

Silva & Lemos (1996) estudaram sobre os ciclos sedimentares na Formação Itaituba com base nos conodontes, posicionando o terço inferior da Formação Itaituba (Sintema I, cf. Silva, 1996) no Bashkiriano inferior e o terço médio-superior da mesma formação no Bashkiriano superior-Moscoviano inferior (Sintema II, cf. Silva, 1996).

Scomazzon (1999) definiu três zonas de intervalo local para a Formação Itaituba, trabalhando em afloramentos da plataforma sul da Bacia do Amazonas, zona *Idiognathodus sinuosus-Rhachistognathodus muricatus* para o Bashkiriano inferior, zona *Idiognathodus klapperi-Streptognathodus parvus* para o Bashkiriano e a zona *Idiognathodus claviformis-Idiognathodus incurvus* para o Moscoviano superior.

Lemos & Scomazzon (2001) reconheceram o limite Morrowano/Atokano na porção media da Formação Itaituba utilizando amostras de subsuperfície, assim como também a documentação do limite Atokano/Desmoinesiano no topo da Formação Itaituba e a parte inferior da Formação Nova Olinda. Foram reconhecidas três biozonas, zona *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathus muricatus* de idade Bashkiriano inferior; zona *Diplognathodus orphanus/Diplognathodus coloradoensis* de idade Bashkiriano superior-Moscoviano inferior e zona *Idiognathodus claviormis/Idiognathodus incurvus* atribuído a uma idade Moscoviano Superior-Kasimoviano inferior.

Nascimento et al. (2005) estudou os conodontes encontrados nos afloramentos das pedreiras localizados na plataforma sul da bacia, nas beiras do Rio Tapajós,

analisando-se a porção inferior da Formação Itaituba. Encontrou-se os gêneros *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus roundyi*, *N. atokaensis*, *N. medadultimus*, *N. bassleri*, *Diplognathodus coloradoensis*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus* e *Idioproniodus* sp. Adicionalmente, foi proposto uma zona de ocorrência de *Idiognathoides sinuatus* e uma subzona de ocorrência de *Neognathodus roundyi*. Com base nos gêneros de conodontes *Neognathodus atokaensis* e *Idiognathodus incurvus* se sugere uma idade Bashkiriano superior-Moscoviano inferior.

Scomazzon & Lemos (2005) reportaram a presença de *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus* e a primeira ocorrência de *D. ellesmerensis* na Formação Itaituba, as quais sugerem uma idade Bashkiriano superior-Moscoviano inferior.

Nascimento et al. (2009) integrou dados de conodontes com dados palinológicos recuperados da Formação Itaituba, nas pedreiras, nas beiras do rio Tapajós na plataforma Sul, da Bacia do Amazonas. A associação de conodontes incluiu *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*. A associação dos palinófitos incluiu *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaeotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* e *Meristocarpus* sp. B indicando idade Bashkiriano superior-Moscoviano inferior.

Nascimento et al. (2010a) registra a primeira ocorrência dos gêneros *Ellisonia*, *Gondolella* e *Ubinates* na Formação Itaituba trabalhando em afloramentos junto ao Rio Tapajós e uma pedreira de calcário. Esses gêneros são importantes indicadores paleoambientais de profundidade da lâmina de água, salinidade e energia do ambiente.

Nascimento et al. (2010b) estudando cinco afloramentos da porção inferior da Formação Itaituba, no Sul da Bacia do Amazonas, se propõe duas zonas de amplitude de táxon, zona *Rhachistognathodus muricatus* e zona *Diplognathodus orphanus* e uma zona de associação *Idiognathodus incurvus* / *Neognathodus atokaensis* / *Neognathodus medadultimus*. *Neognathodus atokaensis*,

Diplognathodus orphanus e *Idiognathodus incurvus* caracterizando uma idade Bashkiriano superior-Moscoviano inferior. Além disso, determinaram cronoestratigraficamente o limite Morrowano/Atokano.

Cardoso et al. (2015a) estudaram amostras de subsuperfície do Devoniano Superior da Formação Barreirinha, na Bacia do Amazonas descrevendo uma associação composta por *Cryptotaxis* sp. A, *Mehlina gradata*, '*Ozarkodina*' aff. *sannemanni*, *Polygnathus* sp. and, probably, *Prioniodina* sp. Sugirindo uma idade Frasniano Final.

Cardoso et al. (2015b) determinaram o Índice de alteração de cor (CAI) de elementos conodontes do Frasniano da Formação Barreirinha e os elementos pertencentes ao Pensilvaniano do Grupo Tapajós na Bacia do Amazonas.

Scomazzon et al. (2016) descrevem a bioestratigrafia com base em conodontes e a paleoecologia das rochas carbonáticas do Pensilvaniano da porção marinha do Grupo Tapajós. A fauna de conodontes corresponde a gêneros como *Idiognathoides sinuatus* e *Neognathodus symmetricus* na Formação Monte Alegre, e *Idiognathodus incurvus*, *Diplognathodus coloradoensis* e *Neognathodus bassleri* nas Formações Itaituba e Monte Alegre. Foi proposta uma zona de amplitude de táxon local, zona *Idiognathodus incurvus* na Formação Itaituba e parte inferior da Formação Nova Olinda e uma subzona de amplitude de táxon local de *Diplognathodus coloradoensis* na Formação Itaituba, sugerindo uma idade Bashkiriano tardio-Moscoviano.

Cardoso et al. (2017) estudaram conodontes das Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda na Bacia do Amazonas. Estudos sistemáticos paleontológicos focaram em gêneros como *Adetognathus*, *Diplognathodus*, *Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Neognathodus* e *Streptognathodus*. Com base nos gêneros estudados se sugere a possibilidade de uma conexão ocasional da Bacia do Amazonas com o oeste do Paleotethys durante o Bashkiriano inferior.

A partir dos trabalhos realizados até agora com base em conodontes na Bacia do Amazonas conseguiu-se ter um melhor entendimento paleoambiental, paleoecológico, paleogeográfico e bioestratigráfico da sequência marinha pensilvaniana do Grupo Tapajós (**Fig. 3.6**) permitindo um melhor refinamento

biocronoestratigráfico, o estabelecimento de biozonas e possibilitando correlações a partir de gêneros chaves como *Idiognathodus*, *Rhachistognathus*, *Neognathodus*, *Streptognathus*, *Diplognathodus* e *Idiognathoides*.

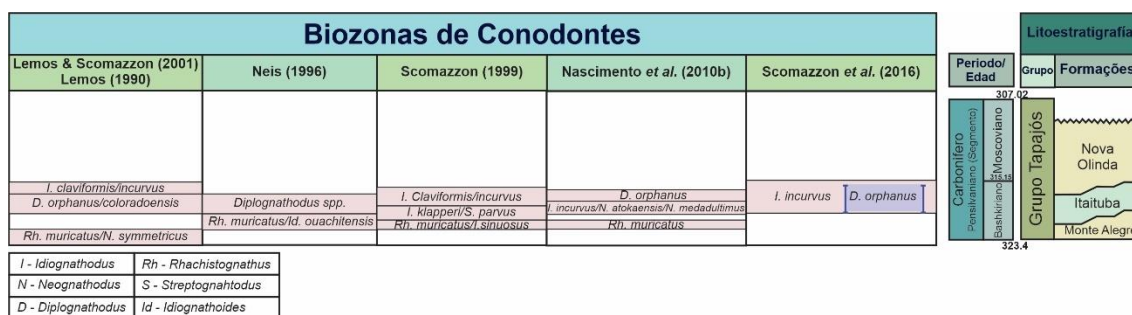


Figura 3.6) Carta estratigráfica do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas com as biozonas de conodontes. Modificado de Scmazzon et al. (2016).

Os estudos com base em conodontes evoluíram desde os primeiros na década de 1990, esses feitos com o objetivo exploratório na Bacia do Amazonas com publicações das primeiras ocorrências dos conodontes. Posteriormente, com um melhor entendimento dos conodontes, os conodontes foram utilizados como ferramenta bioestratigráfica e paleoecológicas. Finalmente, na década de 2000 iniciou-se ensaios isotópicos Sr/Sr e Sm/Nd com base nos conodontes (Koester et al., 2021).

O gênero *Neognathodus* tem sido utilizado no Pensilvaniano do mundo, nas regiões de América do Norte em bacias como *Paradox Basin*, *Illinois Basin*, Arkansas; Europa em bacias como *Shannon Basin* na Irlanda Ocidental, Maciço de Alduides-Quinto Real, a Seção Las LLacerias na Espanha e em Ásia em seções estratigráficas como *Naqing Section*, *Diazinshang Section*, *Luokun Section*, *Qoltag Belt* para o zoneamento do Morrowano com biozonas como *N. higginsii*, *N. symmetricus*, *N. bassleri*, Atokano com biozonas como *N. atokaensis* e *N. colombiensis* e Desmoinesiano com biozonas como *N. caudatus*, *N. asymmetricus* e *N. roundyi*. O mapeamento desse gênero é chave no refinamento bioestratigráfico e vai auxiliar num melhor entendimento dos táxons na Bacia do Amazonas e suas interações com o ambiente onde habitaram.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada inicialmente a compilação dos trabalhos desenvolvidos no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, realizados no Laboratório de Conodontes e Foraminíferos - LACONF da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), os quais incluem dissertações, teses e publicações em artigos científicos, desde 1990 até hoje.

Após a análise bibliográfica, que incluiu trabalhos sobre vários aspectos da geologia da bacia, foram selecionadas aquelas literaturas com base na presença de conodontes do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas em específico o gênero *Neognathodus*, foco deste trabalho.

Foram utilizados os dados de 12 publicações cujo material paleontológico se encontra depositado no repositório do LACONF com número de registro MP-M-. A informação base corresponde às publicações de Lemos (1990), Lemos & Medeiros (1996), Lemos & Scomazzon (2001), Nascimento et al. (2005), Scomazzon & Lemos (2005), Nascimento et al. (2009), Nascimento et al. (2010a), Nascimento et al. (2010b), Cardoso et al. (2015a), Cardoso et al. (2015b), Scomazzon et al. (2016), Cardoso et al. (2017).

No total, o material estudado corresponde a 18 poços, distribuídos na plataforma norte, calha central e plataforma sul, e 6 afloramentos localizados na plataforma sul da bacia.

Realizou-se a observação de imagens das publicações previamente selecionadas, realizadas em estereomicroscópio ou MEV – microscópio eletrônico de varredura, das espécies de *Neognathodus* para fins de reconhecimento do gênero e suas espécies.

A partir das características morfológicas das diferentes espécies de *Neognathodus* analisados, foram selecionadas características chaves de cada espécie da Bacia do Amazonas, para a obtenção da classificação taxonômica. Com base nessas características foram revisados os espécimes já descritos, e aqueles que não estavam de acordo com as características determinadas dentro da bacia, foram reescritos, comparados com coleções mundiais e posteriormente

reclassificados segundo a descrição original das espécies-tipo e tendo em vista as possíveis variações regionais na Bacia do Amazonas.

Uma vez compiladas todas as informações, foram geradas tabelas com dados do local de amostragem, poço/afloramento, as coordenadas de localização, a espécie de *Neognathodus* presente, as camadas da ocorrência onde é especificada a litologia e a espessura, o topo e base da camada e a qual formação litológica corresponde.

Posteriormente, as tabelas foram utilizadas como *proxy* para o *software Petrel*, onde esses dados já organizados são a base para a geração de mapas de distribuição das diferentes espécies de *Neognathodus* estudadas na Bacia do Amazonas e a realização de mapas de isópacas das principais espécies e suas assembleias.

Foi utilizada também a interpretação dos registros de poços da Petrobras para obter-se uma representação bidimensional das diversas litologias que compõem os poços, calibradas com as profundidades das camadas. Os dados foram modelados a partir do *software CorelDraw*, obtendo um conjunto de perfis de poços desenhados e localizados na bacia, onde posteriormente foram adicionadas as ocorrências das diversas espécies de *Neognathodus*.

A obtenção desses perfis e a plotagem das ocorrências de *Neognathodus* neles foi fundamental para o estabelecimento do zoneamento bioestratigráfico e possíveis considerações paleoecológicas.

5. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA

5.1 Bacia do Amazonas

A Bacia do Amazonas trata-se de uma sinéclise paleozoica com forma alongada quase elipsoidal na direção WSW-ENE localizada na região equatorial do Norte no Brasil, englobando os estados do Amazonas e Pará (Caputo & Soares, 2016) (**Fig. 5.1**). Geologicamente, a bacia está limitada ao norte pelo Escudo das Guianas, a sul pelo Escudo Brasileiro, a leste pelo arco de Gurupá e ao oeste pelo arco de Purus. Possui uma área de 500.000 km² com 1.300 km de

comprimento e 380 km de largura média e um preenchimento sedimentar e ígneo com cerca de 5.000m de espessura (Cunha et al., 1994; Costa, 2002; Cunha et al., 2007; Caputo & Soares, 2016).

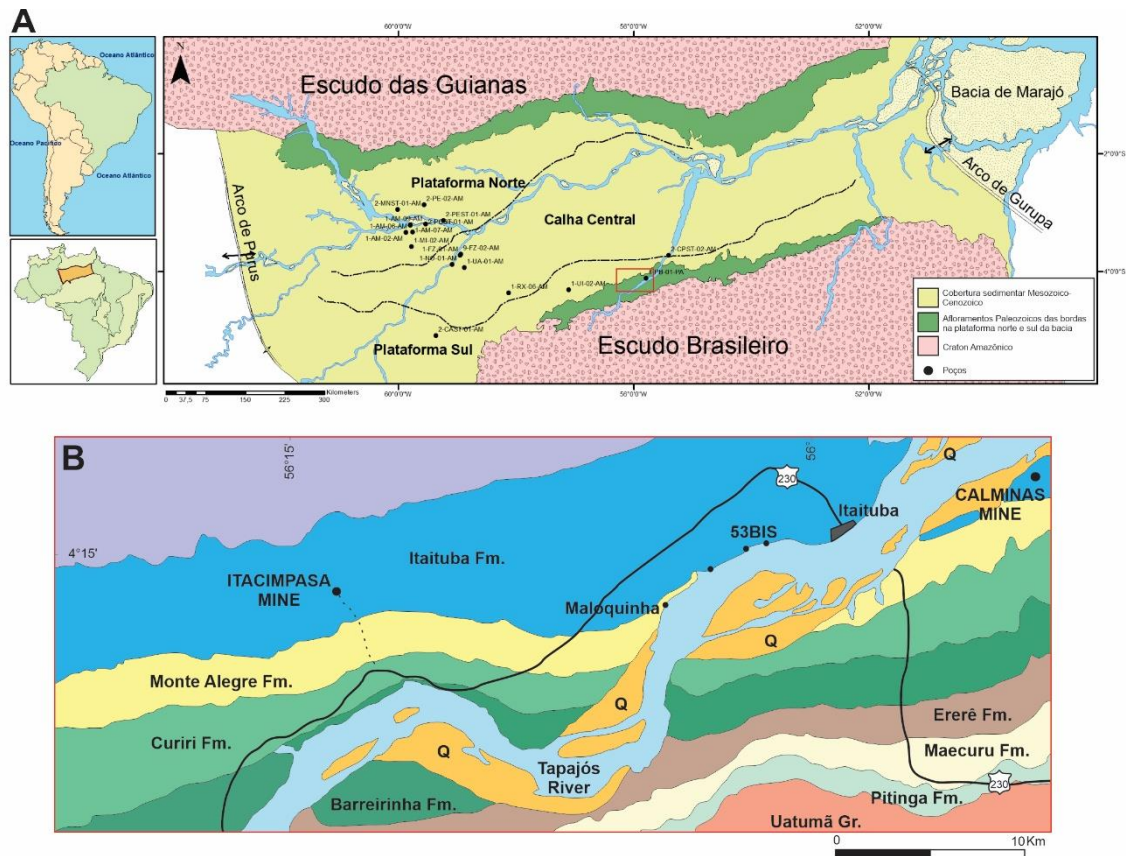


Figura 5.1) A. Mapa da Bacia do Amazonas. Apresenta a localização dos poços trabalhados. O quadrado amarelo corresponde à área dos afloramentos na região de Itaituba. B. Mapa de localização dos afloramentos na plataforma Sul: Mina de ITACIMPASA, Mina de CALMINAS e os afloramentos ao longo do Rio Tapajós. Modificado de Matsuda et al. (2007).

A história geológica da bacia inicia com a formação do supercontinente Gondwana produto da reorganização das placas tectônicas com o rompimento de Rodinia entre 600 e 520 Ma (Benedetto, 2018). Segundo Hoffman (1991) o Supercontinente Gondwana foi formado pela separação e rotação no sentido anti-horário do conjunto Antártida-Austrália-Índia-África ocidental e América do Sul, compensado pelo fechamento do oceano de Moçambique, a sutura da colisão é o orôgeno Moçambique. A amálgama dos blocos continentais implicou o fechamento de diversas bacias, como por exemplo o fechamento do oceano Brasileiro produto dos orôgenos colisionais durante o ciclo orogênico Brasileiro-Panafricano.

Segundo Cunha et al. (2007) a origem da Bacia do Amazonas estaria relacionada com a dispersão dos esforços no final do ciclo Brasileiro-Panafricano. Os esforços compressivos na direção leste-oeste e de alívio na direção norte-sul gerados durante a orogenia Brasileira deram lugar à faixa móvel Araguaia-Tocantins. Essa faixa corresponderia ao rifte precursor na Bacia do Amazonas tendo ainda se propagado de leste a oeste devido à reativação de zonas de fraquezas pré-cambrianas. Com o cessar dos eventos distensivos, ocorreu o resfriamento das massas magmáticas, gerando a subsidência térmica regional e o posterior desenvolvimento da sinéclise intracontinental.

Wanderley Filho (1991) destaca que a Bacia do Amazonas é caracterizada por estruturas transversais de idade fanerozoica, consequente da reativação de estruturas pré-cambrianas. Houve reativação das falhas pré-existentes durante a fase rifte da bacia que ocasionaram a compartimentação em quatro blocos estruturais localizados entre os arcos de Purus e de Gurupá.

O bloco 1 corresponde a estruturas transtensivas e seu preenchimento sedimentar corresponde à mega sequência Devoniana-Carbonífera. O bloco 2 apresenta dobras e falhas inversas, o bloco 3 é caracterizado por falhas de empurrão e dobras e finalmente, o bloco 4 apresenta dobras com linhas de charneira visíveis (Wanderley Filho, 1991) **(Fig. 5.2)**.

Inicialmente a Bacia do Amazonas foi dividida em Alto, Médio e Baixo Amazonas. O Baixo Amazonas correspondia à área a leste do Rio Xingu e o Graben do Marajó. Mais tarde, a área do Arco de Gurupá até a região de Monte Alegre passou a ser denominada de Baixo Amazonas e a região entre Monte Alegre e Arco de Purus foi denominada Médio Amazonas (Caputo, 2014). Porém, com o desenvolvimento das pesquisas relativas à evolução tectônica e sedimentar de toda área abrangida por esta bacia, foi observado que a Bacia do Alto Amazonas registra uma história geológica distinta da área denominada como Médio e Baixo Amazonas (Cordani et al., 1984). Com isso, Caputo (1984) sugeriu a designação de Bacia do Solimões, em substituição à denominação Alto Amazonas, determinando que o Alto de Monte Alegre é apenas uma estrutura local, resultante de uma intrusão ígnea dentro da plataforma de Alenquer, propôs também a denominação apenas de Bacia do Amazonas, para as bacias do

Médio e Baixo Amazonas uma vez que não ocorre o Alto de Monte Alegre como feição separadora destas.

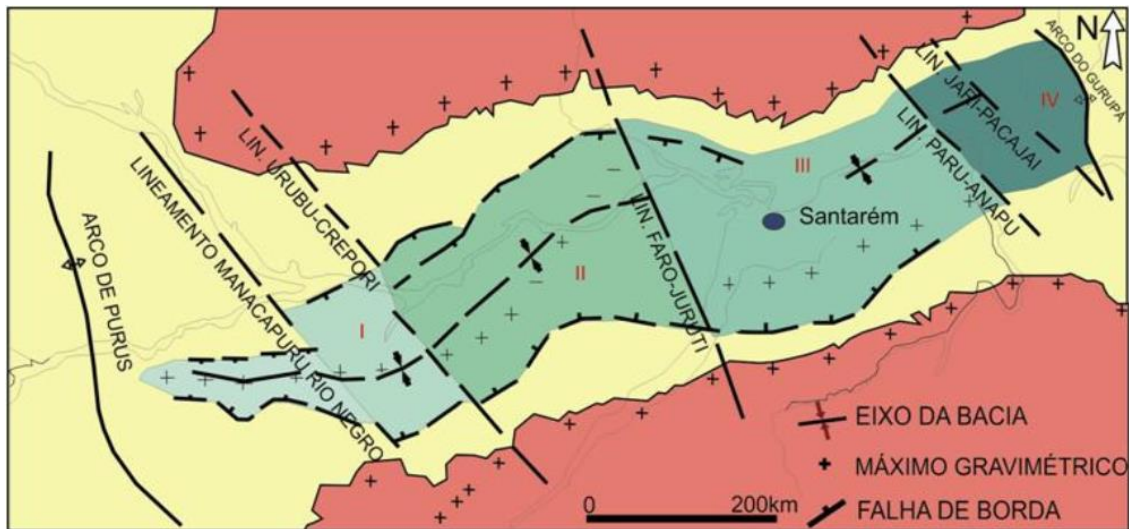


Figura 5.2) Compartimentação tectônica da Bacia do Amazonas e seus quatro blocos estruturais I, II, III, IV, segundo Wanderly Filho (1991). Modificado de Matsuda et al. (2010).

Conforme com Cordani et al. (1984) o substrato da Bacia do Amazonas é constituído por rochas metamórficas pertencentes a faixas móveis, acrescidas a um núcleo central mais antigo denominado Província Amazônica Central correspondente à área cratônica, constituída por rochas essencialmente graníticas e sequências vulcano-sedimentares pouco ou não deformadas com idades absolutas de $\pm 1.8\text{Ga}$ em granito, datadas com o método K-Ar. A faixa móvel ocidental é formada por rochas graníticas e metamórficas denominada como Faixa Móvel Ventuari-Tapajós (Cordani et al. 2000), e a faixa móvel oriental, apresenta lineamentos de direções WNW-ESSE, compostos por sequências metavulcânicas e metassedimentares intercaladas tectonicamente, deformadas e intrudidas por rochas granitoides do ciclo Transamazônico 2.1 a 1.8Ga (Cordani et al. 1984).

O registro sedimentar e ígneo da Bacia do Amazonas é o reflexo tanto das variações eustáticas do nível do mar quanto dos eventos tectônicos paleozoicos ocorrentes na borda oeste da pretérita placa gondwânica e a influência da tafrogenia mesozoica do Atlântico Sul na sua borda leste. Os fenômenos orogênicos deram lugar a movimentações epirogênicas no interior da atual placa Sul-Americana, e como resultado a formação de grandes arcos e discordâncias

regionais. Além disso, esses eventos controlaram as variações nos níveis dos mares epicontinentais, com conseqüente influência nas fácies e ambientes deposicionais (Cunha et al. 2007).

Segundo Matsuda et al. (2010) o arcabouço sedimentar fanerozoico da Bacia do Amazonas atinge quase os 6 km de espessura e com base na análise da estratigrafia de seqüências pode ser dividido em duas megasseqüências de primeira ordem: a primeira megasseqüência corresponde ao Paleozoico composta por rochas sedimentares de natureza variada, intrudidas por diques e soleiras de diabásio mesozoicos e a segunda megasseqüência meso-cenozoica.

A megasseqüência paleozoica está subdividida em quatro seqüências de segunda ordem, limitadas por discordâncias regionais, Sequência Ordovício-Devoniana, relacionada ao Grupo Trombetas; seqüência Devono-Tournaisiana, compreende os Grupos Urupadi e Curuá; Sequência Neoviseana conformada pela Formação Faro; e seqüência Pensilvaniano-Permiana pertencente ao Grupo Tapajós (foco deste trabalho), conformado pelas Formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá (**Fig. 5.3**). Posteriormente, ocorre a megasseqüência meso-cenozoica com rochas Cretácea-Paleogena, marcada pelo Grupo Javari (Cunha et al. 2007).

Segundo Caputo (2014) a sedimentação inicial na bacia possivelmente está restrita ao seu depocentro e todas as descontinuidades estratigráficas da Bacia do Amazonas são erosivas e apresentam apenas uma pequena baixa angularidade por compactação.

De acordo com Matsuda et al. (2010) através de mapas estratigráficos é possível identificar o controle estrutural a que foi submetida a bacia. Apresenta eixos deslocados por falhas com direção NW-SE, as quais correspondem a um dos padrões estruturais do embasamento sobre o qual a bacia se assenta.

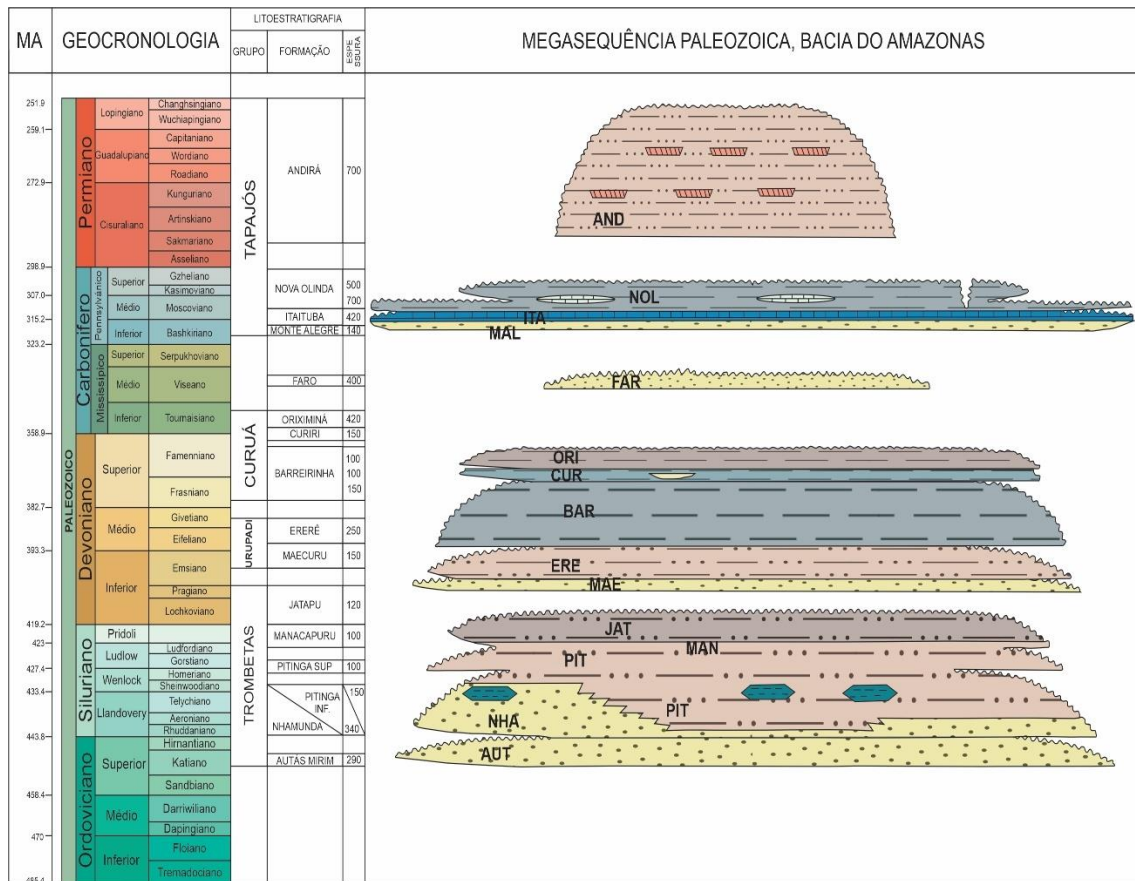


Figura 5.3) Carta estratigráfica com o preenchimento sedimentar da Megasequência Paleozoica da Bacia do Amazonas. AUT= Formação Autas Mirim, NHA= Formação Nhamunda, PIT= Formação Pitanga, MAN= Formação Manacapuru, JAT= Formação Jatapu, MAE= Formação Maecuru, ERE= Formação Ererê, BAR= Formação Barreirinha, CUR= Formação Curiri, ORI= Formação Oriximiná, FAR= Formação Faro, MAL= Formação Monte Alegre, ITA= Formação Itaituba, NOL= Formação Nova Olinda, AND= Formação Andirá. Modificado de Cunha et al. (2007).

A Seqüência Ordovício-Devoniana corresponde ao estágio inicial de deposição na sinéclise, com um caráter pulsante transgressivo-regressivo. Ela apresenta alternâncias de sedimentos glaciais e marinhos, com ingressões de leste a oeste, depositando em *onlap* sobre o Arco de Purus, que impedia a conexão com a Bacia do Solimões. Para leste, a sedimentação ultrapassou a região do atual Arco de Gurupá e se conectou com as bacias do noroeste africano (Cunha et al. 2007). As unidades para a seqüência Ordovício-Devoniana compõem o Grupo Trombetas (Ludwig, 1964). Segundo Grahn (2005), o Grupo Trombetas abrange as formações Autás Mirim, composta por arenitos e folhelhos neríticos neo-ordovicianos; Formação Nhamundá, formada por arenitos neríticos e glaciogênicos eossilurianos; a Formação Pitanga, composta por folhelhos e

diamictitos marinhos silurianos; Formação Manacapuru, constituída por arenitos e pelitos neríticos neossilurianos-eodevonianos e a Formação Jatapu, constituída por arenitos e siltitos marinhos parálicos datados com base em palinologia como idade lochkoviana a eo-emsiana por Melo & Loboziak (2003).

No Devoniano, após a discordância relacionada à Orogenia Caledoniana também denominado Pré-Cordilheirana, ocorreu um novo ciclo transgressivo-regressivo com sedimentação marinha e novas incursões glaciais, também sem conexão com a Bacia do Solimões. No final desse ciclo, em função da Orogenia Eo-Herciniana, houve um recuo do mar e, em consequência disso, a bacia sofreu um extenso processo erosivo, originando a deposição dos grupos Urupadi e Curuá que compõem a segunda sequência de segunda ordem do Paleozoico da bacia, Sequência Devono-Tournaisiana (Cunha et al., 2007). Segundo Caputo (2014) o Grupo Urupadi contém a Formação Maecuru constituído por arenitos e pelitos neríticos a deltaicos, depositada durante o intervalo eodevoniano-mesodevoniano (neoemsiano a eoeifeliano) (Melo & Loboziak, 2003) e a Formação Ererê composta por siltitos, folhelhos e arenitos neríticos, parálicos, de idade neo-eifeliana – eogivetiana (Melo & Loboziak, 2003).

Após a deposição da Sequência Devono-Tournaisiana, se desenvolveu uma intensa atividade tectônica nas margens da Placa Sul-Americana produto da orogenia Acadiana ou Chanica, ocasionando soerguimento e erosão, originando a discordância que separa a Sequência Devono-Tournaisiana da unidade sobreposta, a Formação Faro, que corresponde à Sequência Neoviseana (Cunha, et al., 2007). Baseado em datações palinológicas a duração do hiato pode atingir 14 Ma (Melo & Loboziak, 2003). A Formação Faro é caracterizada por arenitos e pelitos flúvio-deltaicos e litorâneos com influência de tempestades. O topo dessa sequência foi afetado pelo recuo do mar associado à orogenia Eo-Herciniana, o que proporcionou um extenso processo erosivo (Cunha et al., 2007).

Após um hiato temporal de cerca de 15 Ma, um novo ciclo deposicional de natureza transgressivo-regressivo começa na Sinéclise do Amazonas, durante o Neocarbonífero. Corresponde à quarta sequência de segunda ordem denominada Sequência Pensilvaniano-Permiano, constituída pelas formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá, as quais formam o Grupo Tapajós.

Cunha et al. (2007) sugerem que a deposição desse grupo está relacionada às oscilações do nível do mar que refletem mudanças no volume de gelo ocorridas no Supercontinente Gondwana (Caputo, 2014).

Após a deposição da sequência Pensilvaniano-Permiana ocorreu o estabelecimento da orogenia Gondwanides, relacionada à colisão dos continentes Laurasia e Gondwana, esforços compressionais de direção norte-sul provocaram fraturamentos regionais no escudo das Guianas, passando pela Bacia do Amazonas provocando soerguimentos, erosões e originando uma discordância regional que se estende até a Bacia do Paraná. Posteriormente, a bacia sofreu processos distensivos, na direção leste-oeste, seguidos de magmatismo básico na forma de enxames de diques e soleiras de rochas básicas orientados na direção norte-sul produto da tectônica intraplaca relacionados com a orogenia Gonwanide (Cunha et al., 2007).

A abertura do Oceano Atlântico Norte, durante o início do Jurássico, foi responsável por um período de intenso magmatismo na região Amazônica, Magmatismo Penatecaua (Gonzaga et al., 2000). Produto desses acontecimentos houve um evento de reativação de estruturas tectônicas pretéritas, de direções ENE-WSW e WNW-ESSE, denominado Diastrofismo Juruá (Zálan, 2004). Em seguida ao Diastrofismo Juruá um relaxamento tectônico estabelece-se gerando uma zona de subsidência para a acumulação da megassequência Mesozoica-Cenozoica, constituídas pelas sequências Cretácea e Paleogena, o Grupo Javari, representado pelas Formações Alter do Chão, composta por conglomerados, arenitos, argilitos, siltitos e folhelho e Solimões de composição arenosa e pelítica. Finalmente, com o completo desenvolvimento dos Andes durante o Mioceno, a bacia começou a ser suprida pelos sedimentos oriundos da orogenia Andina, última unidade registrada na coluna estratigráfica da Bacia do Amazonas (Cunha et al., 2007).

5.2 Grupo Tapajós

O Grupo Tapajós é constituído em ordem ascendente pelas formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá; atingindo uma espessura de aproximadamente 2800m, depositados desde o Carbonífero médio ao Permiano

(Cunha et al., 2007; Matsuda et al., 2004; Vásquez e Rosa-Costa, 2008) (**Fig. 5.4**).

Em termos gerais, as unidades que compõem o grupo são complexas litologicamente, a pesar de serem compostas pelos mesmos constituintes litológicos, suas proporções variam na composição das formações. Tal variabilidade aponta para uma forte influência climática sobre a deposição, evidenciando uma tendência de continentalização do grupo. Em consequência, quando são forçadas definições dos limites cronoestratigráficos, constata-se que os critérios para o seu estabelecimento não são consistentes em toda a bacia, sendo válidos principalmente para a calha central e se perdendo em direção às bordas (Cunha et al., 2007).

Esse grupo representa um ciclo de 2ª ordem marcado por uma deposição inicial siliciclástica fluvio-eólico intercalada com camadas de carbonatos depositadas em ambiente marinho raso a restrito da Formação Monte Alegre, seguida por uma sequência predominantemente carbonática/evaporítica e siliciclástica da Formação Itaituba, depositada igualmente em ambiente marinho raso. Posteriormente, a Formação Nova Olinda, constitui-se por depósitos evaporíticos siliciclásticos e carbonáticos marinhos. Finalmente, o grupo termina com a deposição dos sedimentos da Formação Andirá, formados por siliciclásticos avermelhados, raros evaporitos e carbonatos depositados num ambiente sedimentar flúvio-lacustre, marcando o final da deposição química-evaporítica na bacia, devido a regressão marinha, dando lugar a uma sedimentação essencialmente continental (Matsuda et al., 2004).

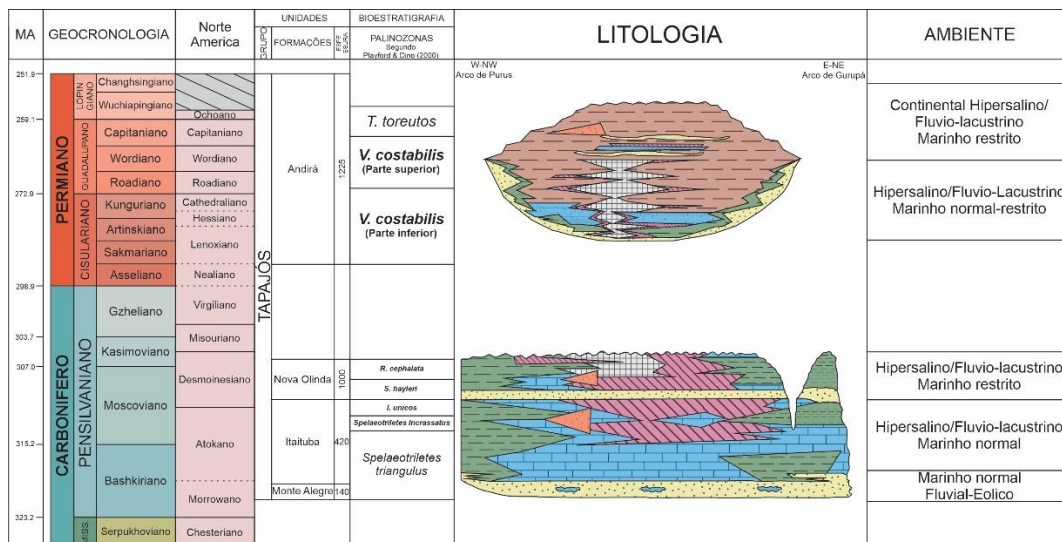


Figura 5.4) Carta estratigráfica do Grupo Tapajós, mostrando as palinozonas correspondentes às formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá (Modificado de Matsuda et al., 2004).

A Cronoestratigrafia do Grupo Tapajós vem sendo estabelecida principalmente com base em conodontes, foraminíferos e palinórfos. Os trabalhos em conodontes iniciaram com Fúlvaro (1965), enfocando em aspectos sistemáticos dos elementos encontrados. Posteriormente, se teve continuidade com trabalhos como Araújo & Rocha-Campos (1969), Tengan et al., (1976), Lemos & Medeiros (1989), Lemos (1990a, b; 1992a,b), Lemos & Medeiros (1989) e (1996a, b), Neis (1996), Silva & Lemos (1996), Scmazzon (1999), Lemos & Scmazzon (2001), Scmazzon (2004), Nascimento et al. (2005), Scmazzon & Lemos (2005), Nascimento et al., (2009), Cardoso (2010), Nascimento et al. (2010a, b), Cardoso et al. (2015a,b), Scmazzon et al. (2016), Cardoso et al. (2017). Os principais estudos em foraminíferos foram realizados por Altiner & Savini (1991, 1995) e em palinórfos por Daemon & Contreiras (1971), Picarelli & Quadros (1991) e Playford & Dino (2000a, b) Nascimento et al. (2009).

Formação Monte Alegre

A Formação. Monte Alegre é caracterizada por arenitos eólicos e de *wadii* intercalados a sedimentos finos (siltitos e folhelhos) de interdunas e lagos (Costa, 1981). O contato entre as formações Monte Alegre e Itaituba é definido por uma camada contínua de anidrita ao longo da bacia (Caputo, 1984) e segundo Cunha et al. (1994) o contato se dá pela passagem do último pacote significativo de

arenitos para os extensos pacotes carbonáticos da Formação Itaituba. A unidade foi depositada na parte superior do Mesopensilvaniano (Neobashkiriano ou Morrowano), de acordo com Playford & Dino (2000) e Melo & Loboziak (2003).

Formação Itaituba

A Formação Itaituba corresponde a depósitos carbonáticos de inframaré e evaporitos de *sabkha* (Cunha et al. 1994). Esta unidade destaca-se pelo volume de calcário, que a diferencia das demais unidades do Grupo Tapajós (Matsuda et al. 2004). A Formação Itaituba varia em espessura, entre 110 m na região aflorante da plataforma sul e 420 m na porção central da bacia, nos poços perfurados. Esta formação marca o estabelecimento de amplas condições marinhas durante este intervalo. É constituída por intercalações de carbonatos e evaporitos, com folhelhos, siltitos e arenitos que representam depósitos transgressivos - regressivos de moderada energia em ambiente marinho raso de infra e intermaré.

Formação Nova Olinda

A Formação Nova Olinda é interpretada como depósitos de *sabkha*. Esta unidade é dividida formalmente em dois membros: Fazendinha, composto de folhelhos, carbonatos, anidritas, halitas e, localmente, silvita, de interesse econômico por se tratar de cloreto de potássio. Esses sedimentos essencialmente químicos evaporíticos, foram depositados em ambientes marinho raso, de planícies de *sabkha* e lagos hipersalinos, e o Membro Arari documenta uma ampla diminuição ou quase ausência de fósseis marinhos, a inexistência de carbonatos marinhos e a associação de folhelhos e siltitos com pacotes de halitas cristaloblásticas. Estas últimas apresentam redes de argilas na sua trama interna, resultantes de retrabalhamento de seções salíferas mais antigas, que foram soerguidas nas bordas da bacia e redepositadas nas áreas mais centrais (Cunha et al., 1994, 2007).

Formação Andirá

A seção paleozoica da bacia se encerra com a deposição dos sedimentos da Formação Andirá, com siliciclásticos avermelhados, raros evaporitos e carbonatos depositados em maior parte em ambiente fluvial/lacustrino a marinho restrito. Esta é a unidade mais superior do Grupo Tapajós e registra os primeiros sedimentos continentais permianos da Bacia do Amazonas, com depósitos clásticos relacionados por Milani & Zalán (1998) ao final da Orogenia Herciniana. A Formação Andirá é atribuída a um ambiente continental fluvial com depósitos lagunares. O contato entre as formações Andirá e Nova Olinda é discordante, associada a Orogenia Tardi Herciniana (Cunha et al., 1994).

6. RESULTADOS

6.1 Sistemática Paleontológica

Os elementos conodontes foram descobertos em 1856 por Christian Henrich Pander, registrados e classificados com base na morfologia dos elementos, onde era descrito cada espécime isolado e descrito como um gênero ou espécie diferente. No século XX, foram descobertas as primeiras assembleias naturais de elementos conodontes (*clusters*) por Hermann Schimdt, na Alemanha e Harold Scott nos Estados Unidos. No começo, tais assembleias não foram completamente aceitas devido a algumas delas corresponderem a restos fecais de predadores do animal conodonte. Porém, com a descoberta de assembleias naturais semelhantes, encontradas repetidamente em diferentes locais, foi comprovado por pesquisadores a natureza multielemental dos elementos denticulados. Assim, a sistemática para algumas espécies anteriormente utilizada foi substituída gradativamente pela classificação multielemental.

Com a descoberta destas assembleias foi compreendido que diferentes morfotipos ocorriam no mesmo conjunto, o qual foi denominado aparelho alimentar. Desde então, os conodontes passaram a ser definidos com base na composição e estrutura do aparelho multielemental, embora a classificação

taxonômica é baseada na morfologia das peças isoladas. A reconstrução destes aparelhos é feita com base na distribuição geográfica e estratigráfica comum de associações de elementos, a presença de formas na mesma camada e a ocorrência dos elementos fusionados em resíduos insolúveis.

A classificação sistemática das ocorrências de *Neognathodus* spp. da Bacia do Amazonas (**Fig. 6.1**), apresentada neste capítulo, foi realizada com base em Robinson (1981) – *Treatise on Invertebrate Paleontology* e Sweet (1988) – *The conodonta*. As categorias hierárquicas superiores, tais como Filo, Subfilo e Classe seguiram a designação de Donoghue et al. (1998).

DESCRIÇÃO SISTEMÁTICA

Filo **CHORDATA** Bateson, 1886

Subfilo **VERTEBRATA** Linnaeus, 1758

Classe **CONODONTA** Pander, 1856

Ordem **OZARKODINIDA** Dzik, 1976

Família **IDIOGNATHODONTIDAE** Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero ***Neognathodus*** Dunn, 1970

[*Polygnathus bassleri* Harris & Hollingsworth, 1933; OD]

Espécie-tipo *Polygnathus bassleri* Harris; Hollingsworth, 1933; OD]

Diagnose: Aparelho seximembrate ou septimembrate. Elemento pectiniforme scaphate cuja lâmina livre longa, maior que a metade do comprimento do elemento, encontra a plataforma central ou subcentralmente. A plataforma é um pouco reduzida ou ausente na margem externa. Os parapeitos ou as costelas transversais flanqueiam um ou ambos os lados da plataforma. A carena se estende para ou próximo ao final posterior do elemento. As costelas adcarinais são profundas e a cavidade basal é larga, profunda e assimétrica.

***Neognathodus symmetricus* (Lane, 1967)**

2012- *Neognathodus symmetricus* Sanz-López & Blanco-Ferreira: fig.6.22-25

2015- *Neognathodus symmetricus* Fallon & Murray: 1035. Fig. 7. m

2016- *Neognathodus symmetricus* K. Y. Hu et al.: 72, fig. 6.A-B

2016- *Neognathodus symmetricus* Scomazzon et al.: 35, fig. 10.1-2.

2021- *Neognathodus symmetricus* Huang et al.: 18, fig. 17.5

Descrição: A lâmina livre possui seis a oito dentículos e se encontra com a plataforma em posição mediana, continuando como carena centrada até o final posterior. O elemento é simétrico, com margens paralelas a carena, que é ornamentada por nódulos fusionados. As margens podem ser ornamentadas por nódulos ou costelas que se estendem em direção a um sulco mediano paralelo a carena. Os parapeitos apresentam máxima curvatura anterior. Em vista lateral o elemento é em geral reto ou levemente curvado. Em vista aboral a cavidade basal é larga, profunda e assimétrica.

Discussão: Os elementos P1 de *Neognathodus symmetricus* diferem de *Neognathodus bassleri* principalmente por possuir uma carena reta, centrada e fusionada e cavidade basal mais profunda, enquanto *N. bassleri* possui carena subcentral e nodosa.

Elementos encontrados: 96 espécimes.

Material estudado: Poços AM-01, AM-02, AM-05, AM-07, AM-09, CA-01, MI-02, PB-01, PC-01, PE-02, RX-06, UA-01, e afloramento TAP CX.

Distribuição estratigráfica mundial: Bashkiriano inicial - Moscoviano inicial.

Distribuição paleogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

***Neognathodus bassleri* (Harris & Hollinsworth, 1933)**

2002- *Neognathodus bassleri* Ritter et al.: 508. Fig. 8. 3

2003- *Neognathodus bassleri* Whan Zhihao & Qi Yuping: 391. Plate 2.23

2015- *Neognathodus bassleri* Fallon & Murray: 1035. Fig. 7. n-o

2017- *Neognathodus inaequalis* Cardoso et al.: 89. Fig. 7. 13

2017- *Neognathodus symmetricus* Cardoso et al.: 89. Fig. 7. 15

2018- *Neognathodus bassleri* Zimmerman et al.: 790. fig. 5.20-21

Descrição: a lâmina livre possui quatro a seis dentículos e se encontra com a plataforma em posição mediana. Esta se continua como carena subcentral nodosa até o final posterior da plataforma. Os parapeitos são mais altos que a carena, levemente assimétricos e ornamentados por costelas que se estendem até o sulco medial. O parapeito interno é, em geral, mais paralelo à carena, enquanto o externo apresenta uma leve curvatura. A máxima curvatura se dá geralmente na porção mais posterior da plataforma. A carena termina imediatamente antes do final posterior, se unindo a um dos parapeitos. Em vista aboral a cavidade basal é assimétrica.

Discussão: *Neognathodus bassleri* se diferencia de *N. symmetricus* por ser levemente curvado, por apresentar carena que termina antes do final posterior, se unindo a um dos parapeitos e por estes serem mais elevados que a carena, possuindo costelas que se estendem até o sulco medial. Os elementos de *N. bassleri* são mais robustos do que os *N. symmetricus*.

Elementos encontrados: 160 espécimes.

Material estudado: Poços AM-02, AM-05, AM-07, AM-09, CA-01, FZ-01, FZ-02, FZ-28, MN-01, MI-02, NO-01, PE-02, RX-06, UA-1, UI-02, Afloramentos TAP TV, TAP CX, Pedreira 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Bashkiriano inicial-Moscoviano tardio.

Distribuição paleogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

***Neognathodus atokaensis* Grayson, 1984**

2001- *Neognathodus atokaensis* Orchard et al.: 559. Plate 1. Fig.3

2003- *Neognathodus atokaensis* Whan Zhihao & Qi Yuping: 391. Plate 2.18

2016- *Neognathodus atokaensis* Qi et al.: 181. Fig 10. C,E

2016- *Neognathodus atokaensis* K. Y. Hu et al.: 72, fig. 6.E

2017- *Neognathodus asymmetricus* Cardoso et al.: 89. Fig.7. 7,8

2017- *Neognathodus bothrops* Cardoso et al.: 89. Fig.7. 9

Descrição: A lâmina livre possui de quatro a seis dentículos. Encontra-se com a plataforma em posição mediana e continua como carena nodosa até o final posterior. Em vista lateral o parapeito externo é mais baixo e mais largo que o interno. Este último se estende até o final posterior e é ornamentado por curtas costelas transversais. Em vista oral a porção anterior do parapeito externo é levemente semicircular e ornamentada com proeminentes costelas transversais. Em vista aboral a cavidade basal é assimétrica e mais profunda na porção central abaixo da plataforma.

Discussão: *Neognathodus atokaensis* se diferencia de *N. bassleri* por ter um parapeito mais elevado que o outro e ser mais arredondado no contorno geral.

Elementos encontrados: 53 espécimes.

Material estudado: Poços CA-01, FZ-01. PE-02, RX-06, Afloramentos TAP TV, TAP CX, Pedreira 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Bashkiriano tardio-Moscoviano inicial.

Distribuição paleogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

***Neognathodus bothrops* Merrill, 1972**

2010- *Neognathodus bothrops* Nascimento et al.: 249. Fig. 5.D.

2013- *Neognathodus bothrops* Qi et al.: 319. Fig 6. O,P

2013- *Neognathodus bothrops* Ishida, Suzuki & Inada: 42. Plate 2. Fig 22

2018- *Neognathodus bothrops* Zimmerman et al.: 790. Fig 5. 18,19

Descrição: Plataforma com parapeitos elevados, ornamentados por nódulos e costelas transversais separados da carena por uma depressão mediana. Carena

subcentral fusionada que se continua até o final posterior. Em vista aboral a cavidade basal é assimétrica e mais profunda abaixo da plataforma.

Discussão: Conforme a descrição original de Merrill (1972), esta espécie é diferenciada de *N. bassleri* por ter a carena fusionada que se estende até o final posterior. Grayson (1984) sugere que a carena nodosa ou fusionada é um caráter ecológico e não deveria ser empregado como característica taxonômica. Contudo, Merrill (1999) considera que *N. bothrops* faça parte de um complexo de morfotipos onde as variações morfológicas da carena e parapeitos sejam suficientes para caracterizar estas diferentes espécies. Neste trabalho, os espécimes foram descritos de acordo com Merrill (1972).

N. bothrops se diferencia de *N. bassleri* porque a carena de *N. bothrops* se estende até o final posterior, permitindo que os parapeitos se encontrem, enquanto a carena de *N. bassleri* se une com um parapeito no final posterior.

Elementos encontrados: 8 espécimes.

Material estudado: Poços FZ-01, RX-06, Afloramentos TAP TV, Pedreira 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Moscoviano.

Distribuição paleogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

***Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972**

2002- *Neognathodus medadultimus* Ritter et al.: 503. Fig 6. 1

2003- *Neognathodus medadultimus* Whan Zhihao & Qi Yuping: 391. Plate 2. 19

2017- *Neognathodus colombiensis* Cardoso et al.: 89. Fig.7. 10,12

2017- *Neognathodus tsnensis* Cardoso et al.: 89. Fig. 7. 22

2018- *Neognathodus medadultimus* Zimmerman et al.: 790. Fig 5. 15-17

Descrição: A lâmina livre apresenta 6 a 8 dentículos encontrando-se com a plataforma em posição mediana, se continuando como uma carena nodosa e mais baixa que os parapeitos. A plataforma é afilada posteriormente e mais larga no terço anterior. Os parapeitos podem ser altos ou baixos, e tem as margens com nódulos quase fusionados e costelas transversais que se estendem

suavemente em direção ao sulco longitudinal. Em alguns espécimes, o parapeito esquerdo é mais alto que o direito e tem uma depressão mais rasa.

Se observa que as vezes a carena se une ao parapeito direito no terço anterior, em outros espécimes a carena se une ao parapeito direito no terço posterior e, em outros espécimes a carena se continua posteriormente fusionado com o parapeito esquerdo, na metade posterior.

Em vista lateral a plataforma é alta e ampla. A cavidade basal é longa, assimétrica, mais expandida na porção anterior e mais profunda no centro.

Discussão: O grau de fusão entre a fileira externa de nódulos com a carena pode ser variável, sendo a interrupção do sulco mediano através da união de um dos parapeitos com a carena suficiente para definir esta espécie. Em alguns espécimes, no entanto, a fusão da carena com a fileira de nódulos é completa, formando uma única fileira de nódulos. Em outros espécimes esta união não é total. A carena e um dos parapeitos podem se unir existindo uma nítida separação entre ambas as fileiras de nódulos. Merrill (1972) ressalta que a união da carena com um dos parapeitos interrompe a depressão mediana, e considera a perda do sulco mediano suficiente para a definição da espécie (ver Merrill, 1972, pl. 1, fig. 6, p. 824).

Elementos encontrados: 58 espécimes.

Material estudado: Poços AM-02, CA-01, FZ-01, NO-01, UA-01, Afloramentos TAP TV, TAP CX, Pedreira 1, Pedreira 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Moscoviano.

Distribuição paleogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Ásia, Europa.

***Neognathodus roundyi* Gunnell, 1931**

2002- *Neognathodus roundyi* Ritter et al.: 503. Fig 6. 2-4

2010- *Neognathodus roundyi* Nascimento et al.: 249. Fig. 5.D.

2016- *Neognathodus roundyi* Scomazzon et al.: 35. Fig 10. 8,9

2017- *Neognathodus sp* (Cardoso et al.): 89. Fig. 7. 21

2018- *Neognathodus roundyi* Zimmerman et al.: 790. Fig 5. 8-11

Descrição: em vista oral a lâmina possui quatro a seis dentículos que se encontram com a plataforma em posição mediana e se continuam como a carena fusionada até o final posterior. A plataforma possui um parapeito interno com somente um nódulo na porção anterior. O parapeito externo apresenta uma fileira de nódulos ou costelas transversais e se continua paralelo a carena até o final posterior. Em vista lateral a carena é mais alta que os parapeitos. Em vista aboral a cavidade basal é longa, assimétrica e profunda, com maior largura e profundidade no terço anterior e é bordejada por abas.

Discussão: A característica diagnóstica é o nódulo único localizado na porção anterior do parapeito interno. A fileira interna de nódulos se distancia da carena no terço anterior da plataforma, convergindo abruptamente com ela em direção a extremidade posterior do elemento desaparecendo antes de chegar ao final posterior do elemento.

Elementos encontrados: 48 espécimes.

Material estudado: Poços AM-02, CA-01, CP-02, PE-01, FZ-01, PC-01, UA-01, UI-02, Afloramentos TAP TV, Pedreira 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Moscoviano médio-final.

Distribuição paleogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Ásia, Europa.

Neognathodus sp.

Descrição: Em geral os elementos se encontram muito abrasados. Os espécimes possuem características do gênero *Neognathodus* tais como carena, sulcos, parapeitos com costelas, contudo em geral estão muito abrasados, com lâmina livre quebrada e alguns fraturados em sua porção basal causando diferença de nível na altura dos parapeitos do elemento que não são reais. Estas alterações nos espécimes dificultam a classificação em nível de espécie.

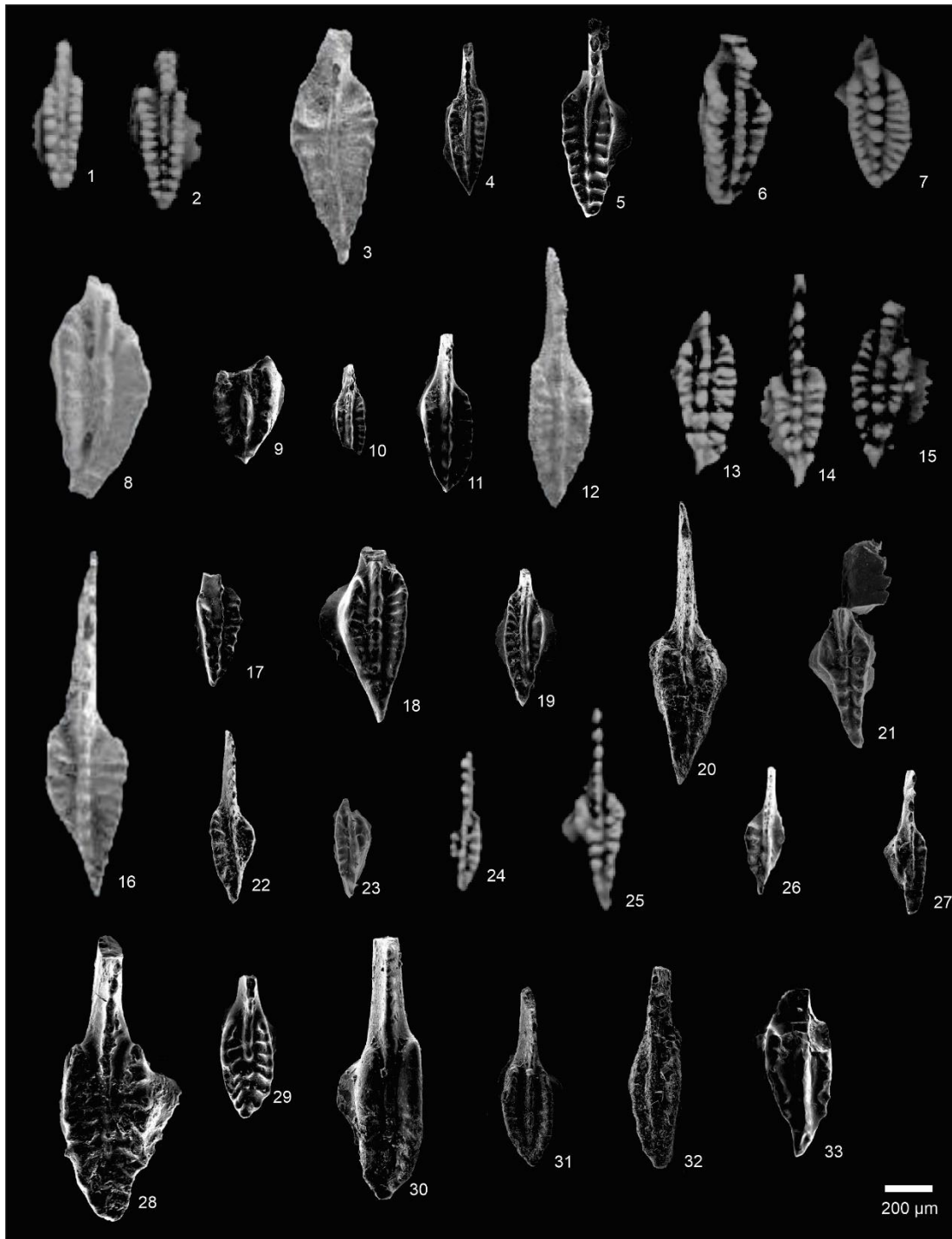


Fig. 6.1) Conodontes da Bacia do Amazonas. **1)** *Neognathodus symmetricus* (Lane, 1967), well 2PCST-001-AM, MP-M-668 (Scomazzon et al., 2016). **2)** *Neognathodus symmetricus* (Lane, 1967), well 1-AM-01-AM, MP-M-669 (Scomazzon et al., 2016). **3)** *Neognathodus bassleri* (Harris & Hollinsworth, 1933), P2C1, MP-M-736 (Nascimento et al., 2010b). **4)** *Neognathodus bassleri* (Harris & Hollinsworth, 1933), well 9-FZ-2-AM, MP-M-1088, (Cardoso et al., 2017). **5)** *Neognathodus bassleri* (Harris & Hollinsworth, 1933), well 1-AM-7-AM,

MP-M-1160, (Cardoso et al., 2017). **6)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, well 1-FZ-01-AM, MP-M-670. (Scomazzon et al., 2016). **7)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, well 1-FZ-01, MP-M-671 (Scomazzon et al., 2016). **8)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, TAP CX3.2, MP-M-744. (Nascimento et al., 2010b). **9)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, well 1-RX-6-AM, MP-M-1146. (Cardoso et al., 2017). **10)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, well 1-RX-6-AM, MP-M-1147, (Cardoso et al., 2017). **11)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, sample 25, well 1-FZ-1-AM, MP-M-998, (Cardoso et al., 2017). **12)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972. TAPCX3.5, MP-M-734. (Nascimento et al., 2010b). **13)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972. Well 1-FZ-01, MP-M-672. (Scomazzon et al., 2016) **14)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972. Well 1-FZ-01-AM, MP-M-673. (Scomazzon et al., 2016). **15)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972. Well 1-FZ-01-AM, MP-M-674. (Scomazzon et al., 2016). **16)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972. P2C2, MP-M-735. (Nascimento et al., 2010b). **17)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972. Well 1-FZ-1-AM, MP-M-1000. (Cardoso et al., 2017). **18)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972. Well 1-FZ-1-AM, MP-M-996. (Cardoso et al., 2017). **19)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972. Well 1-FZ-1-AM, MP-M-997. (Cardoso et al., 2017). **20)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972. Well 1-UA-1-AM, MP-M-1054. (Cardoso et al., 2017). **21)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931). P230C2, MP-M-676. (Nascimento et al., 2005). **22)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931). P230C2, MP-M-700. (Nascimento et al., 2005). **23)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931). TAPTV8, MP-M-737. (Nascimento et al., 2010b). **24)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931). Well 1-FZ-01-AM, MP-M675. (Scomazzon et al., 2016). **25)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931). Quarry II, MP-M-676. (Scomazzon et al., 2016). **26)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931). TAPTV8, MP-M-737. (Nascimento et al., 2010b). **27)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931). Well 2PC-1-AM, MP-M-1030. (Cardoso et al., 2017). **28)** *Neognathodus* sp. Well 1-AM-7-AM. MP-M-1160 (Cardoso et al., 2017). **29)** *Neognathodus* sp. Well 1-AM-7-AM. MP-M-1163 (Cardoso et al., 2017). **30)** *Neognathodus* sp. Well 2CA-1-AM. MP-M-919 (Cardoso et al., 2017). **31)** *Neognathodus* sp. Well 1-AM-7-AM. MP-M-1164 (Cardoso et al., 2017). **32)** *Neognathodus* sp. Well 1-AM-9-AM. MP-M-900

(Cardoso et al., 2017). **33)** *Neognathodus* sp. Well 1-RX-6-AM. MP-M-1146 (Cardoso et al., 2017).

6.2 Zoneamento Bioestratigráfico

A partir da compilação do material disponível no laboratório de conodontes e foraminíferos -LACONF, obtido ao longo dos diferentes trabalhos realizados, é reportada a presença de 423 espécimes de conodontes do gênero *Neognathodus*. Esse gênero encontra-se distribuído na Bacia do Amazonas na plataforma norte, calha central e plataforma sul. Foram reconhecidas seis espécies diferentes as quais correspondem a *Neognathodus symmetricus*, *Neognathodus bassleri*, *Neognathodus atokaensis*, *Neognathodus roundyi*, *Neognathodus medadultimus* e *Neognathodus bothrops*.

A informação organizada e tabelada foi utilizada como *proxy* para o *software* Petrel, onde obtiveram-se mapas de distribuição de cada espécie ao longo da bacia (**Figs. 6.2A,B-6.7A,B**). Adicionalmente, foram feitos mapas dos topos e bases das ocorrências de cada espécie. Posteriormente, esses mapas de distribuição foram a base para a elaboração de mapa de ocorrência na Bacia, onde se evidencia a distribuição do total das espécies, as zonas com maior ou menor abundância (**Figs. 6.2D-6.7D**).

Foram representados graficamente as sequências sedimentares marinhas das seções correspondentes aos 6 afloramentos e os 18 poços analisados neste trabalho. Posteriormente, foi adicionada a informação paleontológica, as ocorrências das diferentes espécies de *Neognathodus* (**Figs. 6.8 - 6.10**).

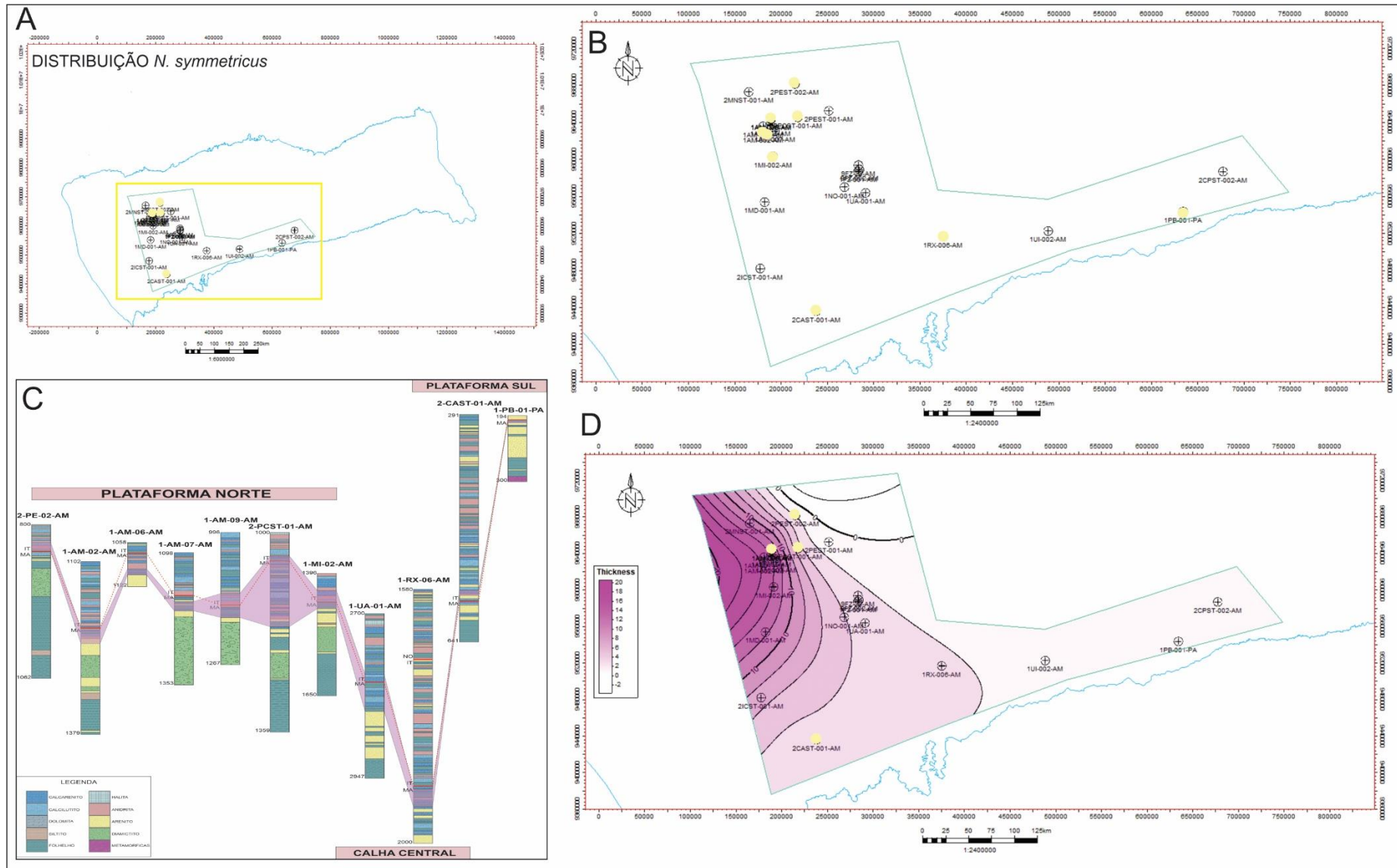


Figura 6.2) Distribuição de *Neognathodus symmetricus*. A) Distribuição das ocorrências de *N. symmetricus* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos amarelos. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. symmetricus* representada pela área em roxo (As profundidades não estão em escala real). D) Mapa de ocorrência de *N. symmetricus*.

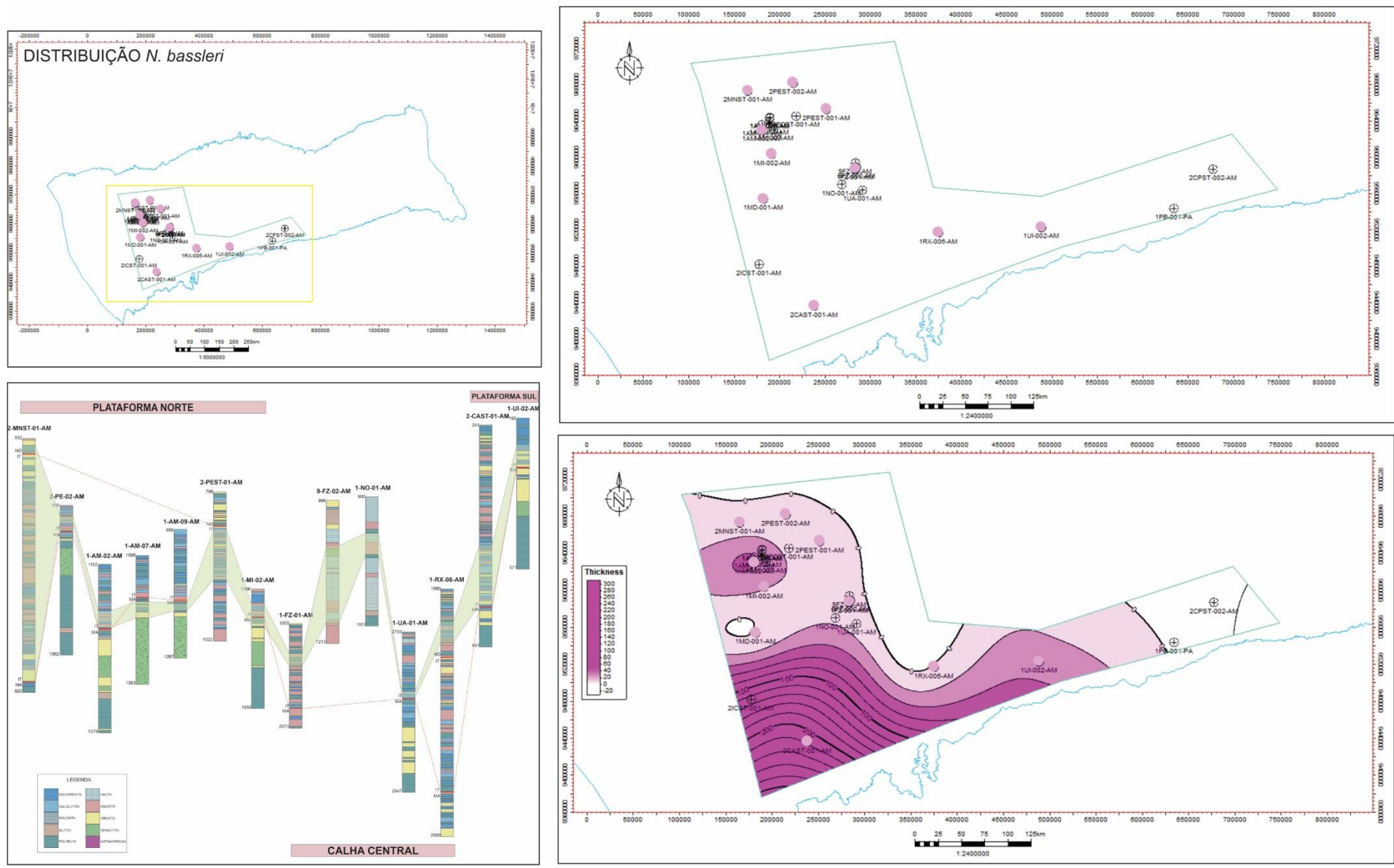


Figura 6.3) Distribuição de *Neognathodus bassleri*. A) Distribuição das ocorrências de *N. bassleri* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos rosas. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. bassleri* representada pela área em roxo (As profundidades não estão em escala real). D) Mapa de ocorrência de *N. bassleri*.

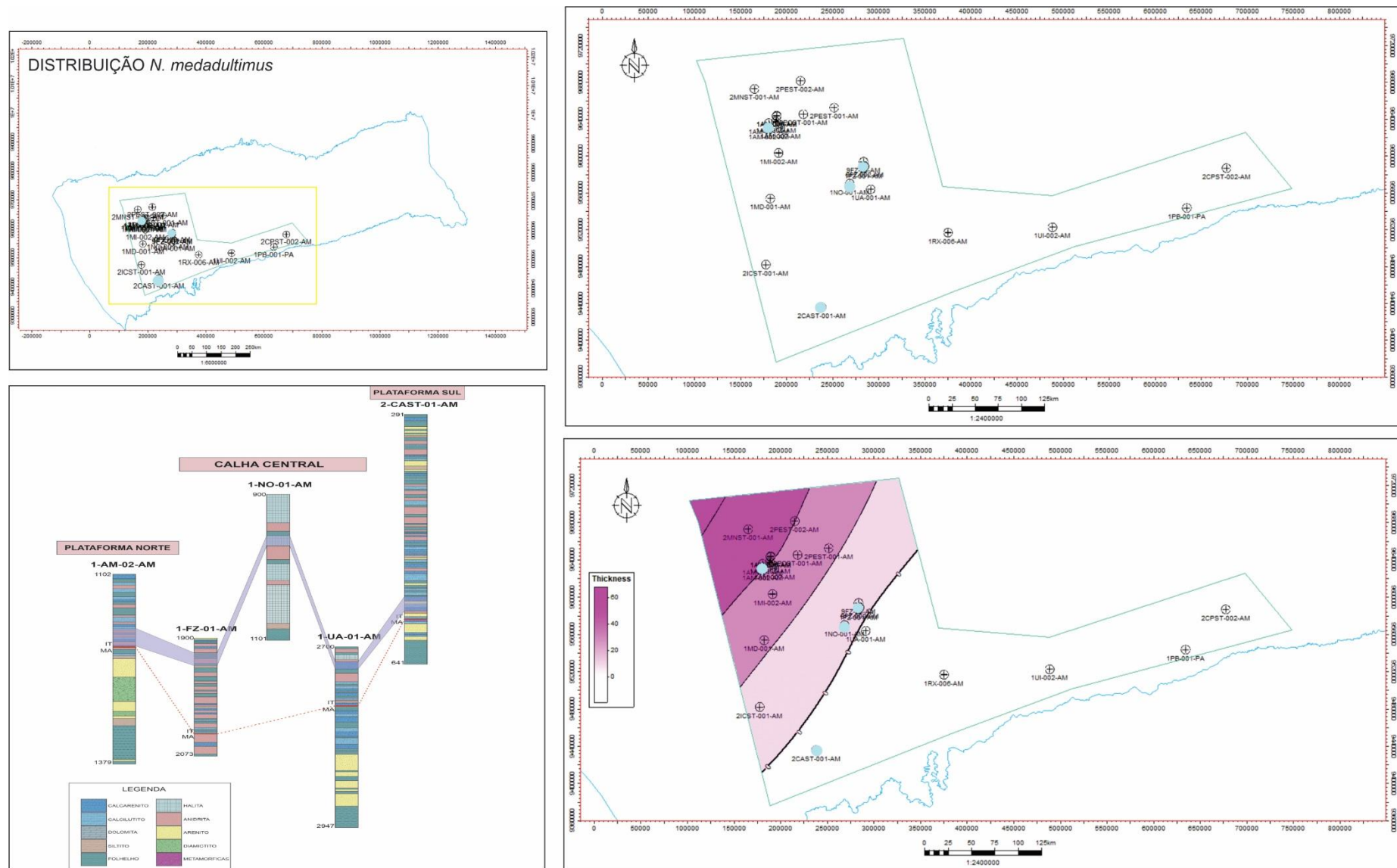


Figura 6.4) Distribuição de *Neognathodus medadultimus*. A) Distribuição das ocorrências de *N. medadultimus* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos azuis. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. medadultimus* representada pela área em azul. As profundidades não estão em escala real. D) Mapa de ocorrência de *N. medadultimus*.

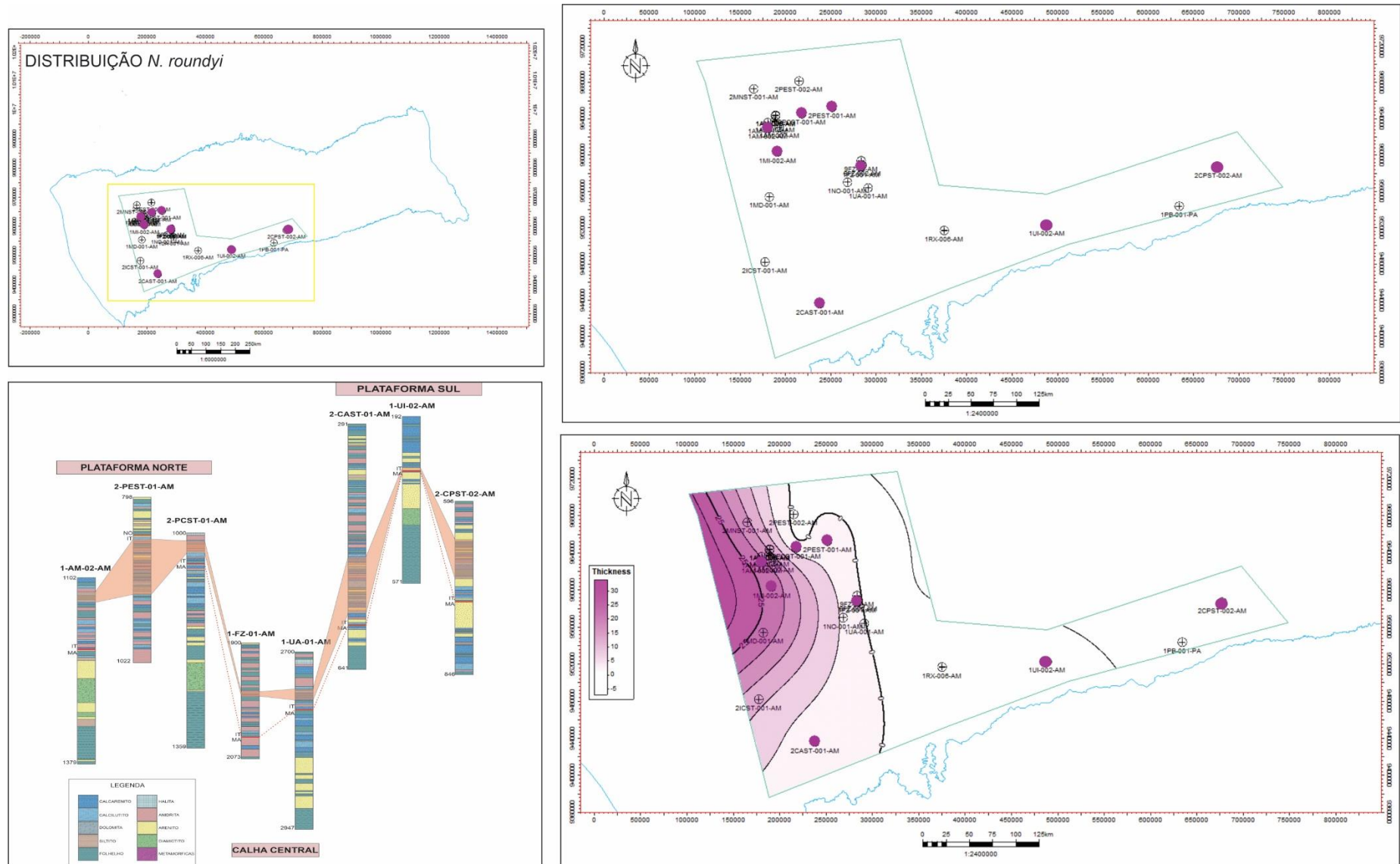


Figura 6.5) Distribuição de *Neognathodus roundyi*. A) Distribuição das ocorrências de *N. roundyi* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos roxos. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. roundyi* representada pela área em laranja (As profundidades não estão em escala real). D) Mapa de ocorrência de *N. roundyi*.

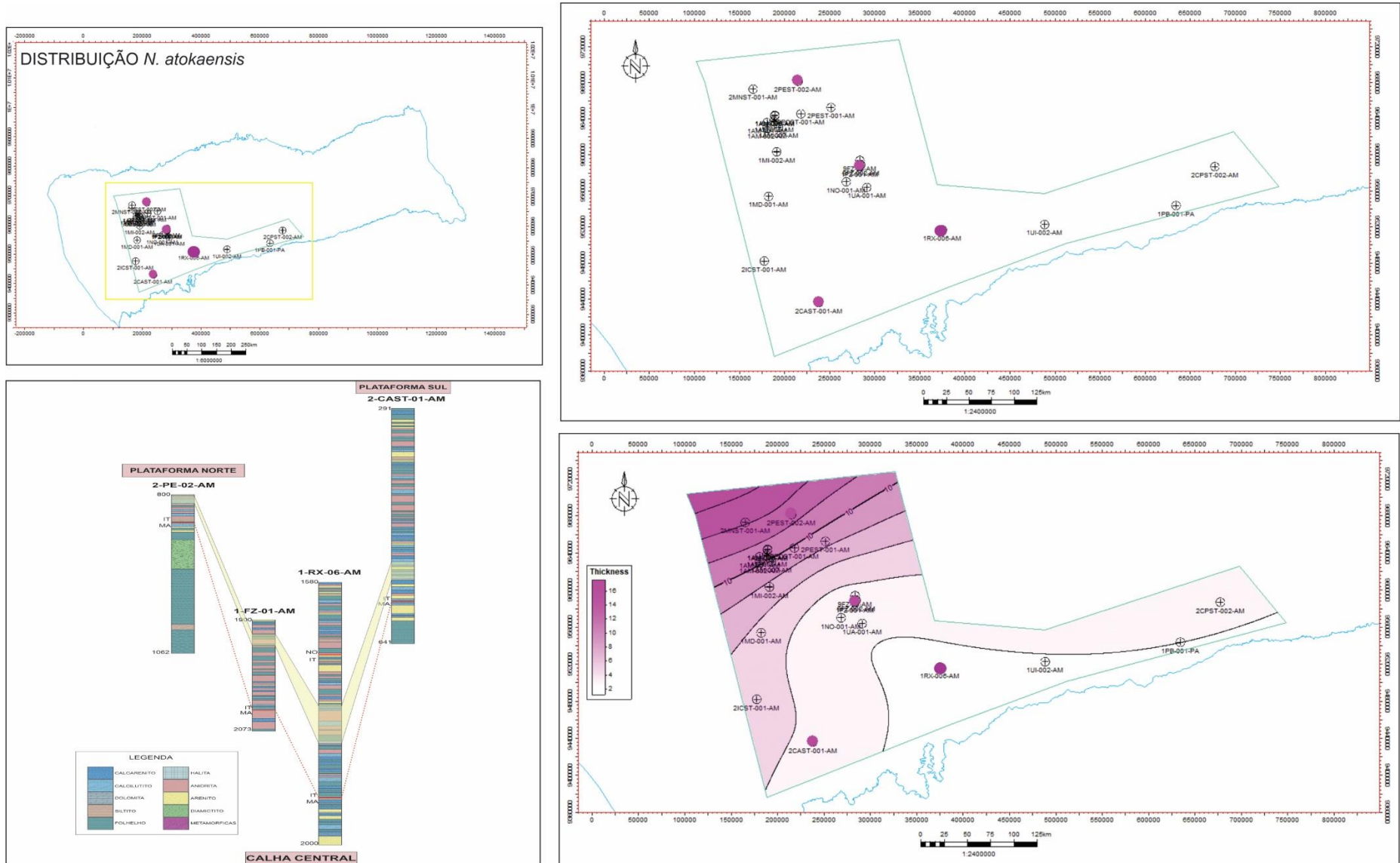


Figura 6.6) Distribuição de *Neognathodus atokaensis*. A) Distribuição das ocorrências de *N. atokaensis* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos roxos. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. atokaensis* representada pela área em amarelo (As profundidades não estão em escala real). D) Mapa de ocorrência de *N. atokaensis*.

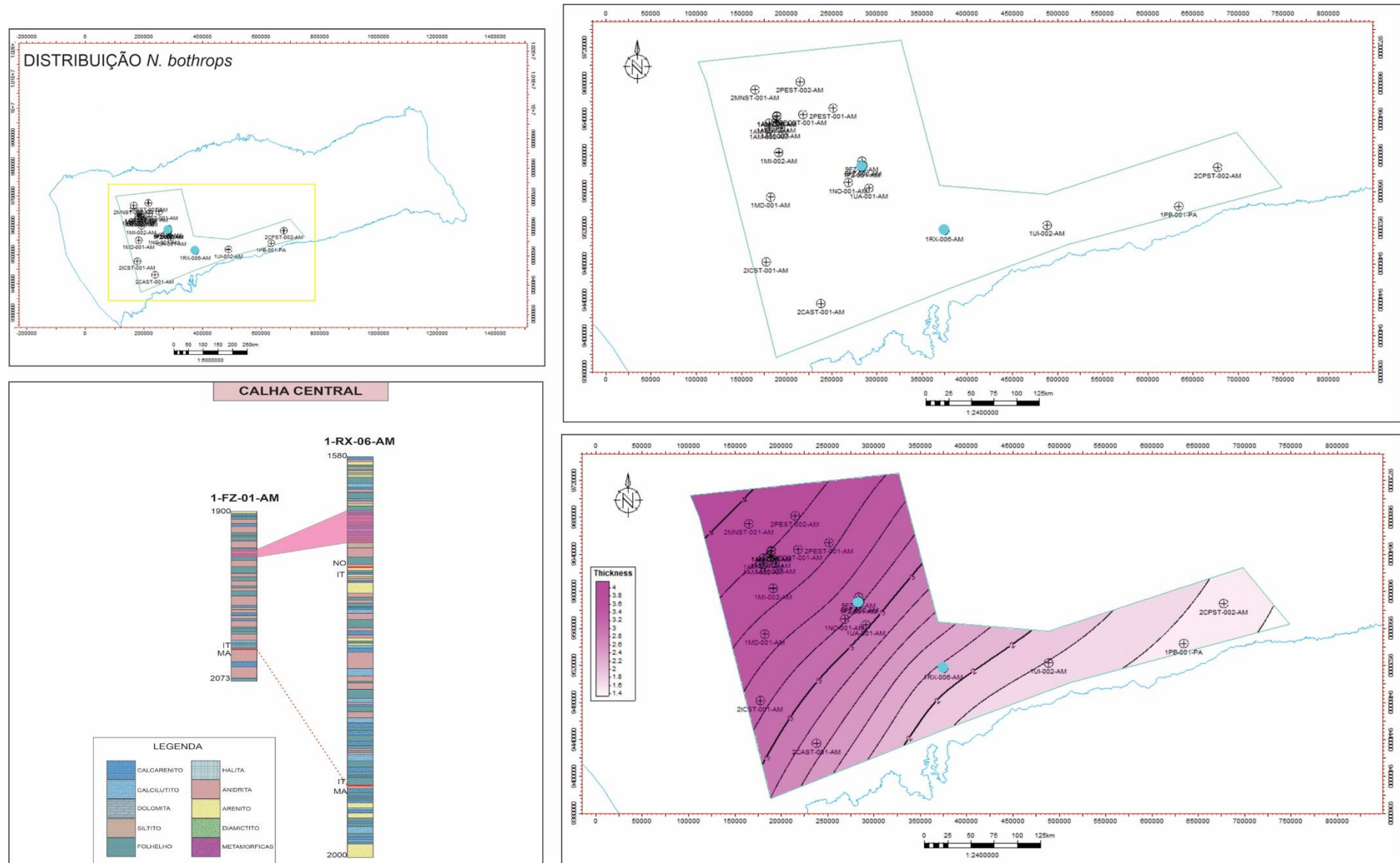


Figura 6.7) Distribuição de *Neognathodus bothrops*. A) Distribuição das ocorrências de *N. bothrops* na Bacia do Amazonas representado pelos círculos azuis. B) Ampliação da imagem A. C) Distribuição vertical ao longo dos poços de *N. bothrops* representada pela área em rosa (As profundidades não estão em escala real. D) Mapa de ocorrência de *N. bothrops*.

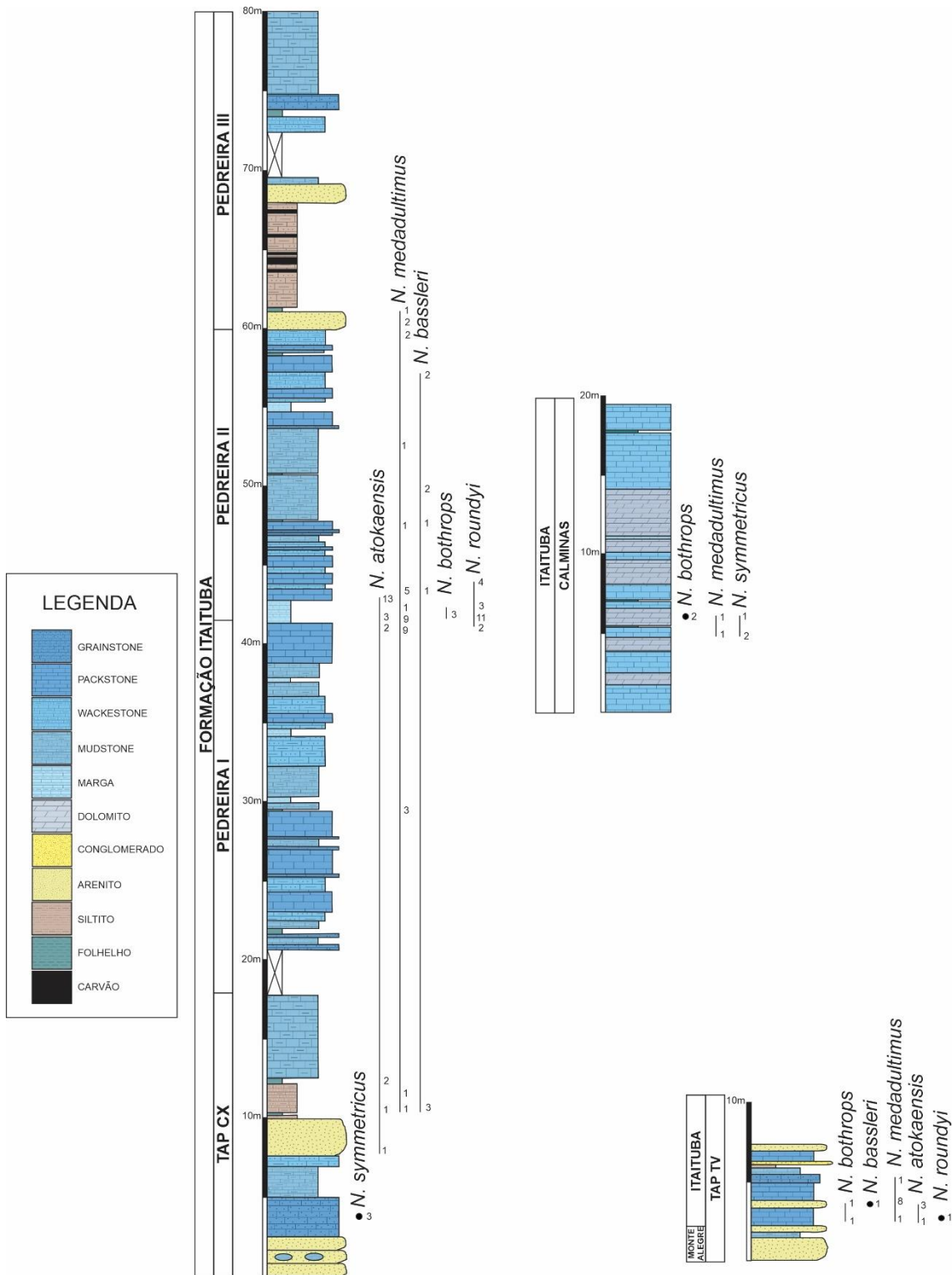


Figura 6.8) Perfil composto da seção aflorante na plataforma sul da bacia, com base nos afloramentos da beira do Rio Tapajós e pedreiras ITACIMPASA e CALMINAS.

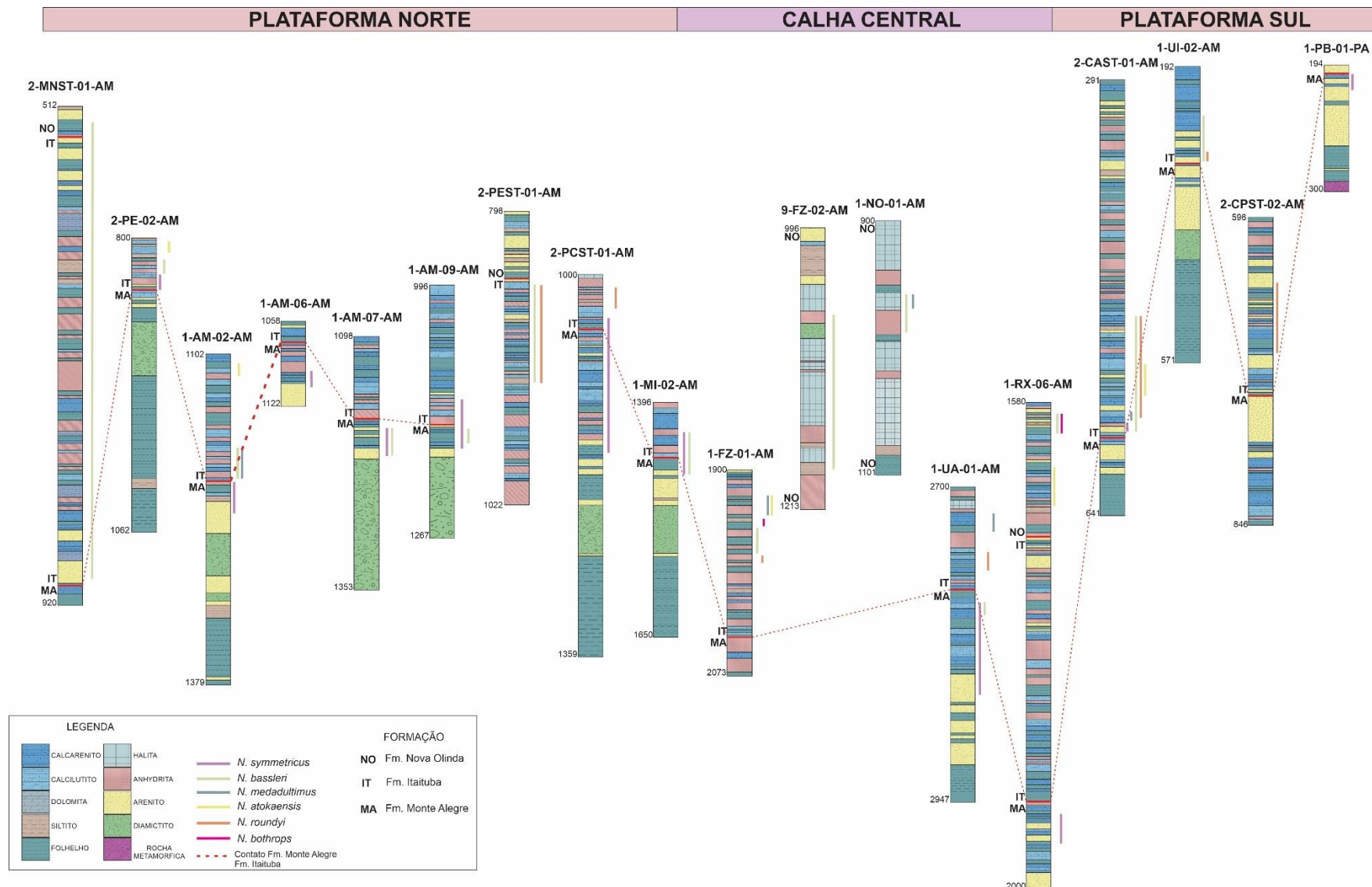


Figura 6.9) Correlação das seções realizadas a partir dos 18 poços analisados, localizados ao longo da bacia nas Plataformas e na Calha central. Os números na esquerda de cada poço correspondem às profundidades da seção estudada. A porção apresentada nos poços é referente à seção amostrada para conodontes, correspondendo ao topo da Formação Monte Alegre, Formação Itaituba e base da Formação Nova Olinda.

GRUPO TAPAJÓS	PLATAFORMA NORTE							CALHA CENTRAL				PLATAFORMA SUL					
	2-MNST-01-AM	2-PE-02-AM	2-PE-01-AM	1-AM-09-AM	1-AM-07-AM	1-AM-06-AM	1-AM-02-AM	1-MI-02-AM	1-FZ-01-AM	1-FZ-02-AM	1-NO-01-AM	1-UA-01-AM	1-RX-06-AM	2-CAST-01-AM	1-UI-02-AM	1-PB-01-PA	2-CPST-02-AM
Nova Olinda (Parte inferior)	<i>N. bassleri</i> 1		<i>N. bassleri</i> 1 <i>N. roundyi</i> 1							<i>N. bassleri</i> 5 2	<i>N. bassleri</i> 4 1 <i>N. medadulitimus</i> 1		<i>N. bassleri</i> 1 2 <i>N. bothrops</i> 1				
ITAITUBA		<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1 <i>N. atokaensis</i> 1		<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1	<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1	<i>N. symmetricus</i> 1	<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1 <i>N. medadulitimus</i> 1 <i>N. roundyi</i> 1	<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1	<i>N. roundyi</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1 <i>N. bothrops</i> 1 <i>N. medadulitimus</i> 1 <i>N. atokaensis</i> 1		<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1 <i>N. roundyi</i> 1 <i>N. medadulitimus</i> 1	<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. atokaensis</i> 1	<i>N. bassleri</i> 1 27 <i>N. medadulitimus</i> 1 <i>N. roundyi</i> 1 <i>N. atokaensis</i> 1		<i>N. bassleri</i> 1 4 <i>N. roundyi</i> 1		<i>N. roundyi</i> 1
Monte Alegre (Parte superior)				<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1	<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1	<i>N. symmetricus</i> 1	<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1	<i>N. symmetricus</i> 1 <i>N. bassleri</i> 1				<i>N. symmetricus</i> 1 2 4		<i>N. symmetricus</i> 1 25 25		<i>N. symmetricus</i> 1 1	

Figura 6.10) Distribuição vertical do gênero *Neognathodus* nos poços estudados, -compreendendo a seção marinha do Grupo Tapajós- topo da Formação Monte Alegre, Formação Itaituba e base da Formação Nova Olinda. Números representam as quantidades de espécimes de *Neognathodus*.

Com base no reconhecimento dos diferentes táxons de *Neognathodus* a partir dos poços analisados, foram determinadas quatro biozonas: três de intervalo *N. symmetricus/N. bassleri*, *N. bassleri/N. symmetricus*, *N. atokaensis/N. bassleri* (Fig. 6.11) respectivamente relacionadas as formações Monte Alegre, Itaituba e porção inferior da Formação Nova Olinda e uma biozona de amplitude do táxon *N. atokaensis* na Formação Itaituba. *Neognathodus* não é um gênero abundante, mas suas ocorrências são significativas pelo fato de ser marcadores chaves devido a sua rápida evolução taxonômica.

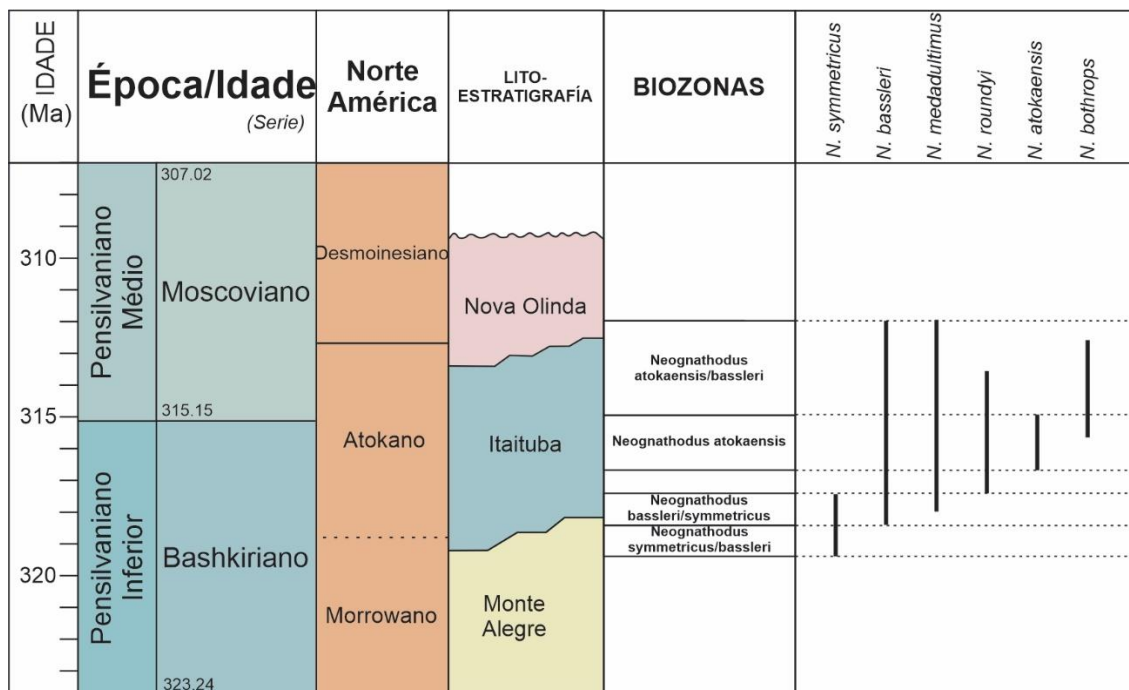


Figura 6.11) Distribuição estratigráfica dos táxons analisados e as biozonas estabelecidas com base nesses táxons. Zona de intervalo de aparecimento de *N. symmetricus/N. bassleri*. Zona de intervalo de aparecimento de *N. bassleri* e desaparecimento de *N. symmetricus*. Zona de amplitude de táxon de *N. atokaensis* e Zona de intervalo de desaparecimento de *N. atokaensis/N. bassleri*.

Zona de *Neognathodus symmetricus/bassleri* (ZNs-Nb)

Definição e critérios para reconhecimento

Zona de intervalo onde o limite inferior é marcado pelo primeiro aparecimento de *Neognathodus symmetricus* e o limite superior corresponde ao primeiro aparecimento de *Neognathodus bassleri*.

Seção de referência

Poço UA-01-AM (Formação Monte Alegre, core 19, CX 1-2, profundidade entre 2856-2860 e Formação Itaituba, core 17, CX 1-1, profundidade 2758-2761).

Outras ocorrências significativas

Poço AM-02-AM (Formação Itaituba, core 2, profundidade entre 1110-1160), poço 2PEST-02-AM (Formação Itaituba, core 3, cx 2-2 e core 6, cx 2-3; profundidades entre 818-831), poço 1AM-09-AM (Formação Monte Alegre, core 15 e core 14, profundidade entre 1112-1117).

Distribuição litoestratigráfica

Topo da Formação Monte Alegre e base da Formação Itaituba.

Cronoestratigrafia

Bashkiriano médio.

Correlação com outras zonas

Zona de *Neognathodus symmetricus* de Hu et al. (2020), (China); Zona de *Neognathodus symmetricus* de Barrick et al. (2013), (*Midcontinent*, Estados Unidos); Zona de *Idiognathoides sinuatus-Neognathodus symmetricus* de Alekseev et al. (1996), (Rússia); Zona de *Neognathodus symmetricus* de Mizuno (1997), (Japão); Zona de *Neognathodus symmetricus-Idiognathodus primulus* de Ishida et al. (2013), (Japão); Zona de *Neognathodus symmetricus-Rhachistognathus muricatus* de Lemos & Scomazzon (2001), (Brasil).

Zona de *Neognathodus bassleri/symmetricus* (ZNb-Ns)

Definição e critérios para reconhecimento

Zona de intervalo *N. bassleri/N. symmetricus* cujo limite inferior corresponde ao primeiro aparecimento de *Neognathodus bassleri*. Seu limite superior corresponde ao último aparecimento de *Neognathodus symmetricus* e primeira ocorrência de *Neognathodus roundyi*.

Seção de referência

Poço 2CAST-01-AM (Formação Itaituba, core 6-7, CX 1-1, profundidade entre 539-541).

Outras ocorrências significativas

Poço UA-01-AM (Formação Itaituba, core 17, CX 1-1, profundidade 2758-2761).

Distribuição Litoestratigráfica

Base da Formação Itaituba.

Cronoestratigrafia

Bashkiriano superior.

Correlação com outras zonas

Zona *Neognathodus bassleri* de (Lane, 1967; Lane & Straka, 1974; Barrick et al., 2013), (*Midcontinent*, Estados Unidos).

Zona de *Neognathodus atokaensis* (ZNa)

Definição e critérios para reconhecimento

Zona de amplitude do táxon, marcado pelo aparecimento e desaparecimento de *Neognathodus atokaensis*.

Seção de referência

Poço 2CAST-01-AM (Formação Itaituba, core 6, CX 1-1, profundidade 534-541).

Outras ocorrências significativas

Poço 1FZ-01-AM (Formação Itaituba, core 25, CX 1-4, profundidade 1943); poço 1RX-06-AM (Formação Itaituba, core 16, CX 2-3, profundidade 1684-1693); poço 2PEST-02-AM (Formação Itaituba, core 3, CX 2-2, core 6, CX 2-3, profundidade 818-832).

Distribuição Litoestratigráfica

Formação Itaituba.

Cronoestratigrafia

Bashkiriano superior-Moscoviano inferior (Atokano médio).

Correlação com outras zonas

Zona *Neognathodus atokaensis* de Barrick et al. (2013), (**Midcontinent, Estados Unidos**); Zona *Streptognathodus transitivus*- *Neognathodus atokaensis* de Nemyrovska (2017), (**Rússia**); Zona de *Idiognathodus incurvus* / *Neognathodus atokaensis* / *Neognathodus Medadultimus* de Nascimento et al. (2010b), (**Brasil**).

Zona de *Neognathodus atokaensis-bassleri* (ZNb-Na)

Definição e critérios para reconhecimento

Zona de intervalo, onde o limite inferior corresponde ao desaparecimento de *Neognathodus atokaensis* e o limite superior corresponde ao desaparecimento de *Neognathodus bassleri*.

Seção de referência

Poço 1RX-06-AM (Formação Nova Olinda core 10, CX 2-2, profundidade 1588-1590; Formação Itaituba, core 16, CX 2-3, profundidade 1689-1693).

Outras ocorrências significativas

Poço 2CAST-01-AM (Formação Itaituba, core 1, core 2, CX 1-1, Core 5, CX 1-1, Core 6 Cx 1-1, profundidades 327-541).

Distribuição Litoestratigráfica

Formação Itaituba e base da Formação Nova Olinda.

Cronoestratigrafia

Moscoviano médio.

O reconhecimento dos táxons de *Neognathodus* no perfil composto da seção aflorante na beira do Rio Tapajós e pedreiras foi utilizado para o estabelecimento da zona de amplitude do táxon de *N. atokaensis* (**Fig. 6.12**) que correspondem

a porção inferior e médio-superior da Formação Itaituba aflorante na plataforma sul da bacia. *Neognathodus* não é abundante, mas suas ocorrências são significativas pelo fato de ser marcadores chaves devido a sua rápida evolução taxonômica.

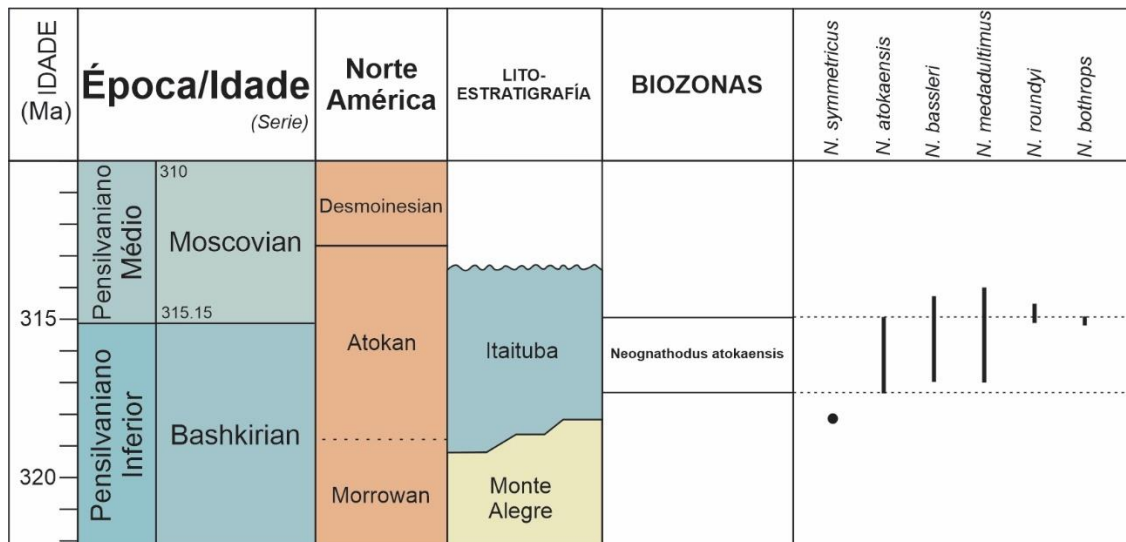


Figura 6.12) Distribuição vertical dos conodontes na seção composta dos afloramentos.

Zona de *Neognathodus atokaensis* (ZNa)

Definição e critérios para reconhecimento

Zona de amplitude do táxon, marcado pelo aparecimento e desaparecimento de *Neognathodus atokaensis*.

Seção de referência

Seção composta na beira do rio Tapajós (Afloramentos TAP CX, PEDREIRA I, PEDREIRA II).

Distribuição Litoestratigráfica

Formação Itaituba.

Cronoestratigrafia

Bashkiriano superior-Moscoviano inferior (Atokano médio).

Correlação com outras zonas

Zona *Neognathodus atokaensis* de Barrick et al. (2013), (Midcontinent, Estados Unidos); Zona *Streptognathodus transitivus*- *Neognathodus atokaensis* de

Nemyrovskaya (2017), (Rússia); Zona de *Idiognathodus incurvus* / *Neognathodus atokaensis* / *Neognathodus medadultimus* de Nascimento et al. (2010b), (Brasil).

7. DISCUSSÕES

Os conodontes são microfósseis marinhos que habitaram os mares do Paleozoico e Triássico por quase 300 milhões de anos, durante um período da história da terra no qual houve perturbações físicas e químicas fundamentais no sistema oceano-atmosfera (Ferretti et al., 2020). Estas condições refletidas nos morfotipos dos elementos conodontes tornam estes organismos como ótimas ferramentas para análises bioestratigráficas e paleoambientais.

7.1 Análise bioestratigráfica

Espécies de *Neognathodus* tem sido usadas para o zoneamento do Bashkiriano e Moscoviano (Morrowano, Atokano e Desmoinesiano) (Barrick et al. 2013). Segundo Merrill et al. (1999), *Neognathodus* é uma espécie chave, provavelmente um dos fósseis mais proeminentes para a bioestratigrafia em rochas marinhas do Pensilvaniano Inferior a Médio. *Neognathodus* é uma espécie cosmopolita, independente das fácies e apresenta ampla variabilidade morfológica no tempo, tornando-os ótimos marcadores bioestratigráficos e, portanto, usados nesta pesquisa.

O zoneamento com base em conodontes do gênero *Neognathodus* na Bacia do Amazonas é fragmentado, e é realizado localmente em seções de alguns poços ou afloramentos. O esquema proposto por Lemos & Scmazzon (2001) com a zona *Rh. muricatus* – *N. symmetricus* pro Bashkiriano médio em poços e Nascimento et al. (2010b) com a zona *I. incurvus* – *N. atokaensis* – *N. medadultimus* pro Bashkiriano superior em afloramentos, sendo ambos zoneamentos locais.

O zoneamento proposto (neste trabalho) apresenta uma abrangência completa da seção marinha Pennsylvaniana do Grupo Tapajós e é correlacionável mundialmente com as zonas das diferentes regiões paleogeográficas. É um

zoneamento regional com base no gênero *Neognathodus*: *N. symmetricus*-*N. bassleri* zone (ZNs-Nb), *N. bassleri*-*N. symmetricus* zone (ZNb-Ns), *N. atokaensis* zone (ZNa), *N. atokaensis*-*N. bassleri* zone (ZNa-Nb). Portanto, abrange as zonas anteriormente propostas por Lemos & Scomazzon (2001) e Nascimento et al. (2010b) na Bacia do Amazonas.

As espécies de *Neognathodus* analisadas apresentam um registro estratigráfico que vai desde o Bashkiriano médio até o Moscoviano superior nas diferentes bacias sedimentares no mundo (**Figs. 7.1 - 7.9**) observando-se que:

- ***Neognathodus symmetricus*** ocorre no Bashkiriano médio nos Estados Unidos (Lane, 1967; Lane & Straka, 1974; Eccher et al., 1983), Oeste da Europa (Sanz-López & Blanco-Ferrera, 2012; Fallon & Murray, 2015), no Japão (Mizuno, 1997; Ishida et al., 2013); apresenta uma idade desde o Bashkiriano médio até o Bashkiriano superior na China (Zhihao & Qi, 2003; Qi et al., 2013; Qi et al., 2015; Hu et al., 2016; Huang et al., 2020; Hu et al., 2020) e na Rússia a ocorrência de *N. symmetricus* é no Bashkiriano superior (Aleekseev et al., 1996; Sungatullina, 2014) (**Fig. 7.3**).

- ***Neognathodus bassleri*** ocorre no Bashkiriano médio na China (Zhihao & Qi, 2003), na Europa do Oeste (Fallon & Murray, 2015), nos Estados Unidos desde o Bashkiriano médio até o Moscoviano médio (Lane, 1967; Lane & Straka, 1974; Eccher et al., 1983; Ritter et al., 2002; Barrick et al., 2013; Zimmerman et al., 2018), a ocorrência de *N. bassleri* no Japão é no Bashkiriano superior (Ishida et al., 2013), na Rússia apresenta uma distribuição desde o Moscoviano inferior até o Moscoviano médio (Sundatullina & Davydov, 2015) e na Turquia no Moscoviano médio (Çapkinoglu, 2013) (**Fig. 7.4**).

- ***Neognathodus atokaensis*** apresenta uma distribuição desde o Bashkiriano superior até o Moscoviano inferior na Europa do Oeste (Ochard et al., 2000), Rússia (Aleekseev et al., 1996; Sungatullina, 2014) e Estados Unidos (Grayson, 1984; Lambert, 1992; Barrick et al., 2013) e ocorre desde o Bashkiriano médio até o Moscoviano superior na China (Zhihao & Qi, 2003; Qi et al., 2015; Hu et al., 2016; Hu et al., 2020) (**Fig. 7.5**).

- ***Neognathodus medadultimus*** apresenta uma ocorrência na China no Moscoviano médio (Zhihao & Qi, 2003; Huang et al., 2020), nos Estados Unidos

ocorre no Moscoviano médio até o Moscoviano superior (Ritter et al., 2002; Zimmerman et al., 2013) e na Rússia apresenta uma distribuição no Moscoviano médio-superior (Alekseev et al., 1996) (**Fig. 7.6**).

- ***Neognathodus roundyi*** tem uma distribuição desde o Moscoviano médio até o Moscoviano superior na China (Hu et al., 2020), nos Estados Unidos (Ritter et al., 2002; Barrick et al., 2013; Zimmerman et al., 2018) e uma ocorrência no Moscoviano superior na Rússia (Alekseev et al., 1996; Goreva & Alekseev, 2010; Sungatullina, 2014) (**Fig. 7.7**).

- A primeira ocorrência de ***Neognathodus bothrops*** é proposto para definir a base do Moscoviano (Kabanov and Alekseev, 2011; Alekseev and Goreva, 2013). *N. bothrops* apresenta uma distribuição de Moscoviano inferior-Moscoviano médio na China (Qi et al., 2013), nos Estados Unidos ocorre desde o Moscoviano inferior até o Moscoviano superior (Barrick et al., 2013; Zimmerman et al., 2018) (**Fig. 7.8**).

A zona *N. symmetricus*-*N. bassleri* (ZNs-Nb) pode ser correlacionada com a Zona *Neognathodus symmetricus* que foi proposta inicialmente por Lane (1967) como Zona *Gnathodus bassleri symmetricus* em Arkansas. Também pode ser reconhecida em outras regiões de América do norte como no western U. S., (Dunn 1970), the American Midcontinent, and the Appalachian Basin (Barrick et al., 2013). Adicionalmente, esta zona é correlacionada como a Zona de *Neognathodus symmetricus* de Hu et al. (2020), (China); Zona de *Idiognathoides sinuatus*-*Neognathodus symmetricus* de Alekseev et al. (1996), (Rússia); Zona de *N. askynesis* no Sul dos Montes Urais (Nemyrovska, 2017); Zona de *Neognathodus symmetricus* de Mizuno (1997), (Japão); Zona de *Neognathodus symmetricus*-*Idiognathodus primulus* de Ishida et al. (2013), (Japão) e no Brasil como a Zona de *N. symmetricus*/*R. muricatus* de Lemos & Scomazzon (2001), na Bacia do Amazonas. Mundialmente, a Zona de *N. symmetricus* é designada como uma zona de intervalo, onde sua característica principal é o aparecimento da espécie zonal (**Fig. 7.9**).

A zona *N. bassleri*-*N. symmetricus* (ZNb-Ns) pode ser correlacionada com a Zona *N. bassleri* definida pela primeira ocorrência de *N. bassleri* definida originalmente por Lane (1967). Esta biozona pode ser reconhecida em outras

regiões de América do Norte por Lane & Straka (1974); Barrick et al. (2013) **(Fig 7.9)**.

A zona *N. atokaensis* (ZNa) pode ser correlacionada com a Zona *N. atokaensis* definida pela amplitude do táxon *N. atokaensis* definida inicialmente por Grayson (1984). A zona ZNa pode ser reconhecida também como a Zona *Neognathodus atokaensis* de Barrick et al. (2013), (Midcontinent, Estados Unidos); correlacionada com a Zona *Streptognathodus transitivus- Neognathodus atokaensis* de Nemyrovska (2017), (Rússia); Zona de *Idiognathodus incurvus / Neognathodus atokaensis / Neognathodus Medadultimus* de Nascimento et al. (2010b), na Bacia do Amazonas (Brasil) **(Fig 7.9)**.

A zona *N. atokaensis-N. bassleri* é proposta (neste trabalho) como uma zona de intervalo, onde o limite inferior corresponde ao desaparecimento de *Neognathodus atokaensis* e o limite superior corresponde ao desaparecimento de *Neognathodus bassleri*.

Na Bacia do Amazonas *N. symmetricus* é a espécie mais basal, apresentando uma distribuição estratigráfica do topo da Formação Monte Alegre até a base da Formação Itaituba, ocorrendo ao longo do contato entre as duas formações. *N. bassleri* ocorre desde o topo da Formação Monte Alegre, ao longo da Formação Itaituba até a base da Formação Nova Olinda. *N. medadultimus* tem sua distribuição desde a base da Formação Itaituba até a base da Formação Nova Olinda. *N. roundyi* apresenta sua ocorrência ao longo da Formação Itaituba. *N. atokaensis* encontra-se restrito à Formação Itaituba. Observa-se que *N. bothrops* é uma espécie que apresenta uma distribuição do topo da Formação Itaituba até a base da Formação Nova Olinda.

Destaca-se que as formas mais basais dentro da Formação Monte Alegre, *N. symmetricus* e *N. bassleri* representam o Bashkiriano médio-superior com base nas distribuições mundiais. Observa-se que no limite entre as duas Formações Monte Alegre e Itaituba ocorre o aparecimento de espécies mais superiores como *N. medadultimus* e *N. roundyi* atribuídas como formas do Moscoviano médio superior (Desmoinesiano) (Zimmerman et al., 2018). É possível observar as ocorrências das formas mais superiores como *N. atokaensis*, *N. medadultimus*, *N. roundyi* em camadas onde apresentam-se formas basais como

N. symmetricus ao longo da bacia, tanto nas plataformas norte e sul como na calha central. Em comparação com a distribuição estratigráfica de *Neognathodus* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais, se observa que apesar de *N. roundyi* ser considerada uma forma do Desmoinesiano, ela pode ocorrer junto com formas como *N. atokaensis*, representativa do Atokano. Porém, o aparecimento destas espécies superiores justapostas com formas mais basais permite sugerir um hiato nessas camadas onde ocorrem *N. symmetricus* e *N. roundyi* juntos. Por conseguinte, pode ser sugerido com base na ocorrência de *Neognathodus* a existência de um hiato regional no limite das Formações Monte Alegre e Itaituba que justapõe espécies basais como *N. symmetricus* típica do Bashkiriano médio e espécies superiores como *N. roundyi* representativa do Moscoviano médio-superior (Desmoinesiano).

7.2 Análise paleoambiental

Trabalhos desenvolvidos na Bacia do Amazonas com base em análises estratigráficas e petrográficas como Moutinho (2003, 2006, 2016a,b), Matsuda (2003), Matsuda et al. (2005, 2010), sugerem que a sequência sedimentar corresponde a um ambiente marinho raso nas regiões de plataforma e uma sucessão marinha mais profunda na calha central da bacia. A partir de dados de fácies, Silva et al. (2019) determinaram paleoambientes de sistema eólico costeiro, uma planície de maré mista e uma plataforma epicontinental aberta, refletindo diferenças na energia das massas de água, estruturas físicas, diagenéticas e características biogenéticas, consistências de substrato, entre outras.

A modelagem dos perfis de poços e os afloramentos permite demonstrar ao longo das seções uma composição predominantemente de fácies carbonáticas e evaporíticas. Assim, a sequência sedimentar corresponde a um ambiente marinho raso de águas quentes, com alta taxa de evaporação que permitiu a deposição das camadas de evaporitos. As ocorrências de *Neognathodus* estão predominantemente nas fácies carbonáticas e de folhelhos, em menor proporção se encontram espécimes em fácies evaporíticas.

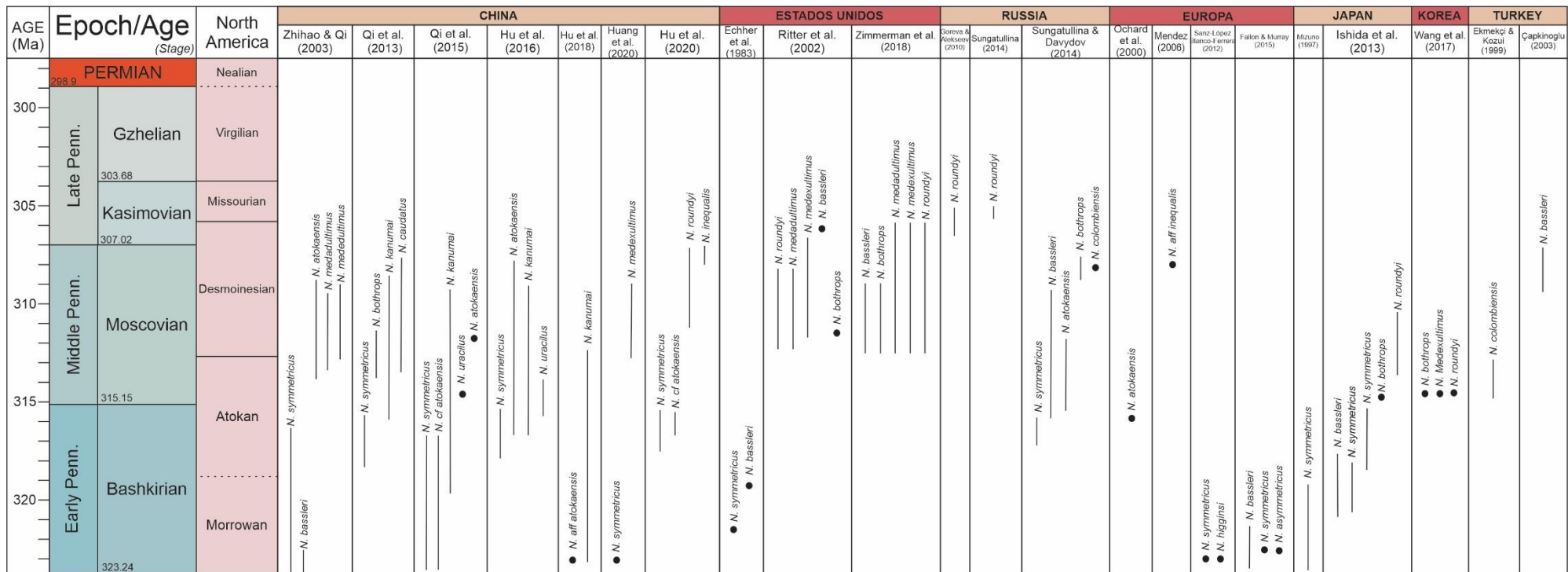


Figura 7.1) Distribuição mundial dos táxons de *Neognathodus* dos táxons analisados neste trabalho. As linhas correspondem à distribuição total das espécies e os pontos correspondem a uma única ocorrência. Foram utilizados como base os trabalhos mais atuais das diversas regiões estudadas. *N.*=*Neognathodus*.

Middle Pennsylvanian
Moscovian
309.5 Ma

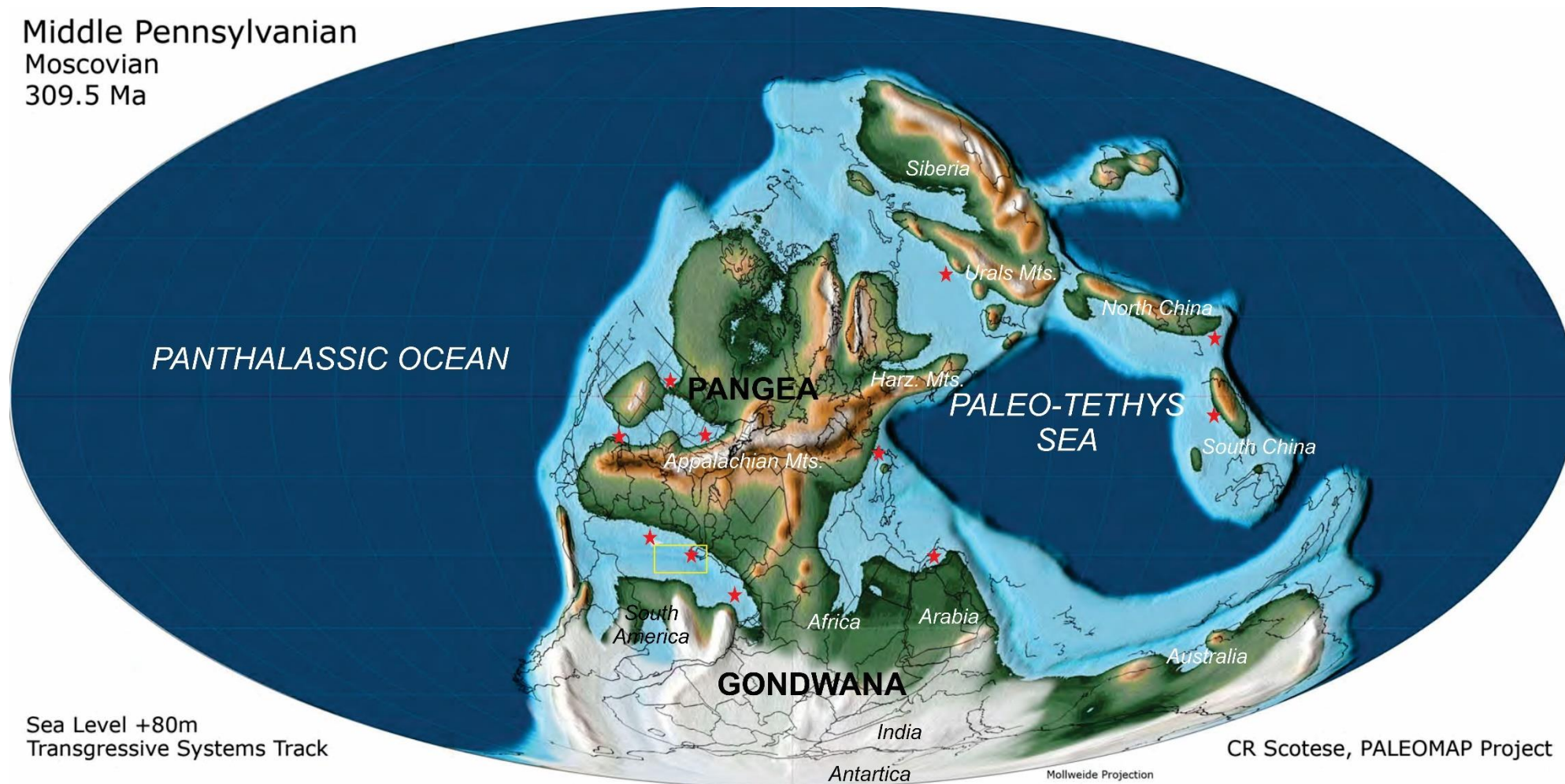


Figura 7.2) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Estrelas vermelhas correspondem as ocorrências de *Neognathodus* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).

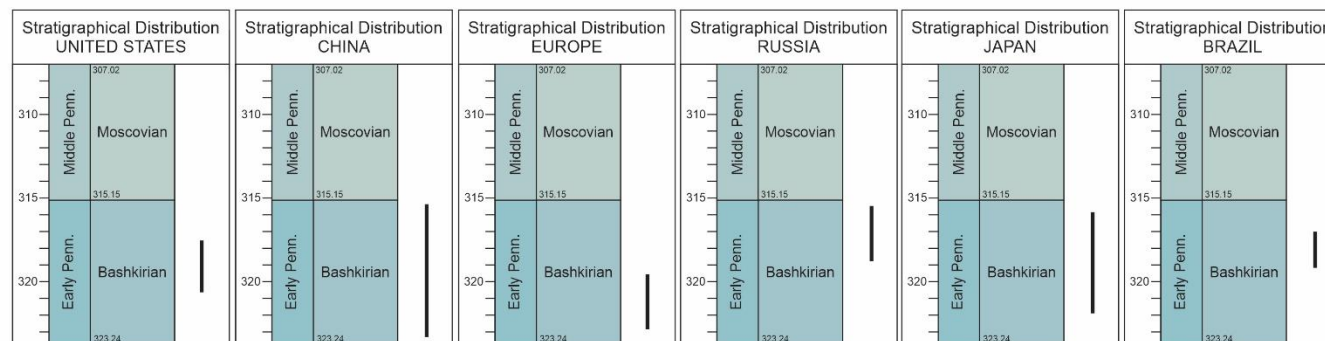
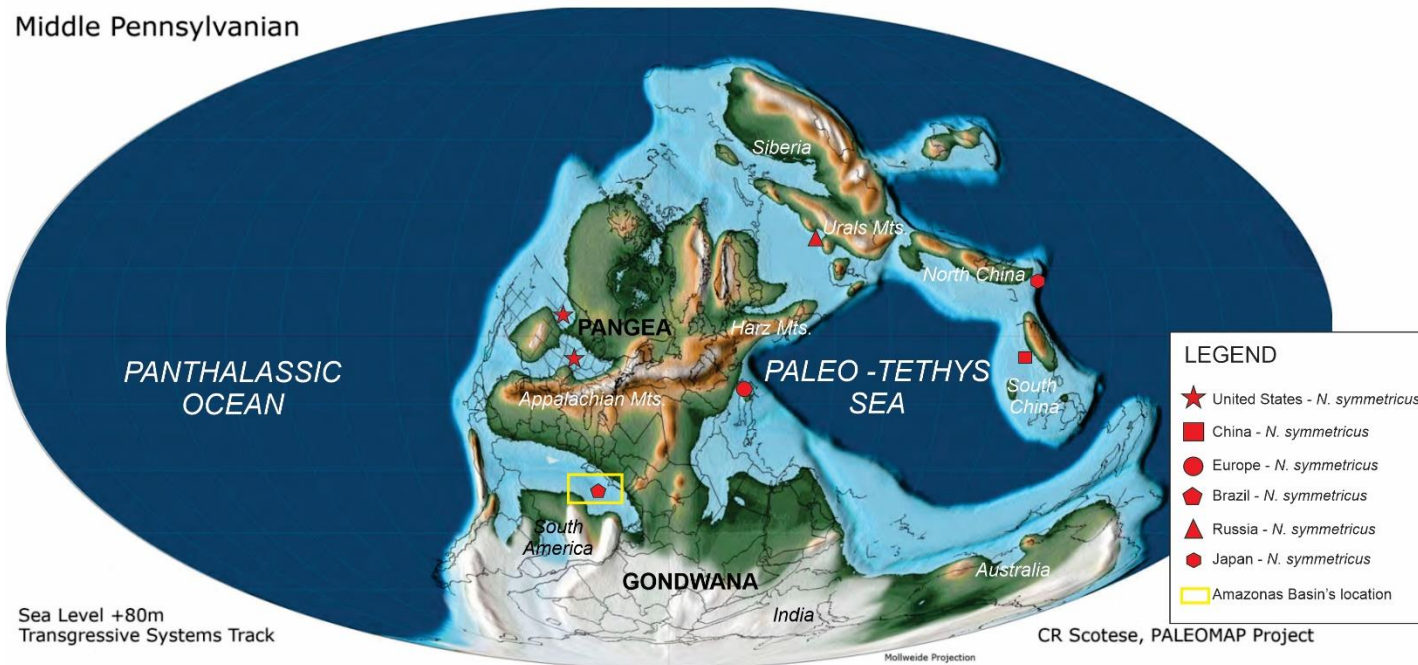


Figura 7.3) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus symmetricus* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).

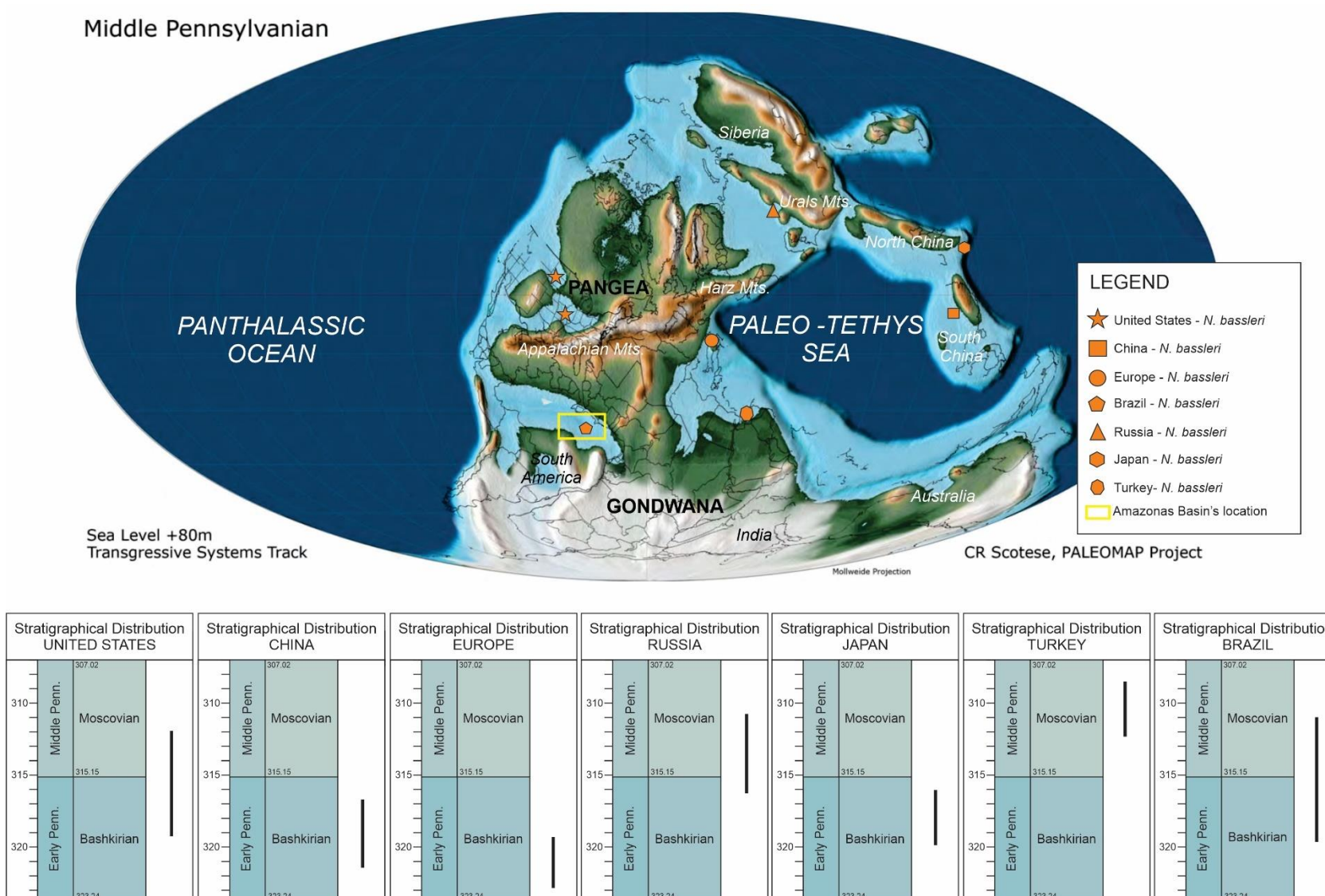
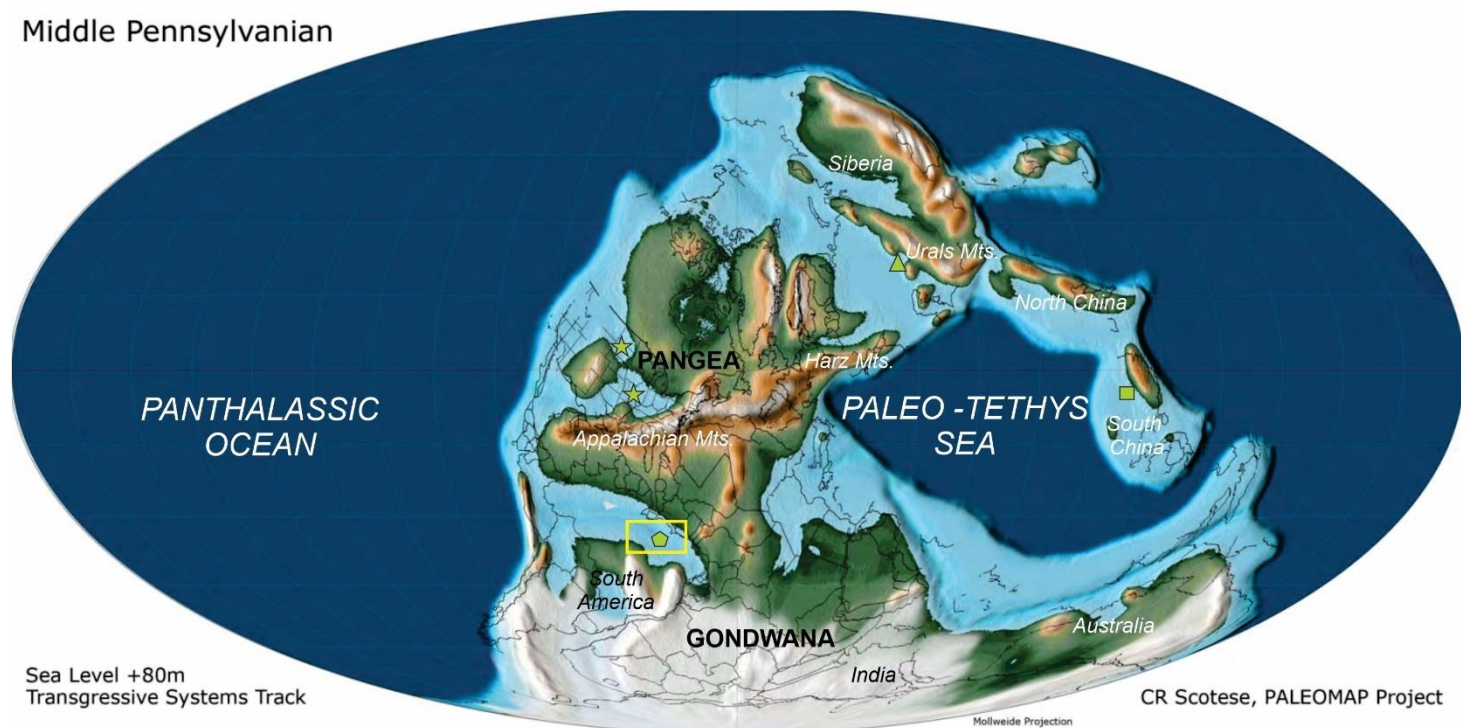


Figura 7.4) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus bassleri* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).

Middle Pennsylvanian



LEGEND	
★	United States - <i>N. atokaensis</i>
■	China - <i>N. atokaensis</i>
◻	Brazil - <i>N. atokaensis</i>
▲	Russia - <i>N. atokaensis</i>
□	Amazonas Basin's location

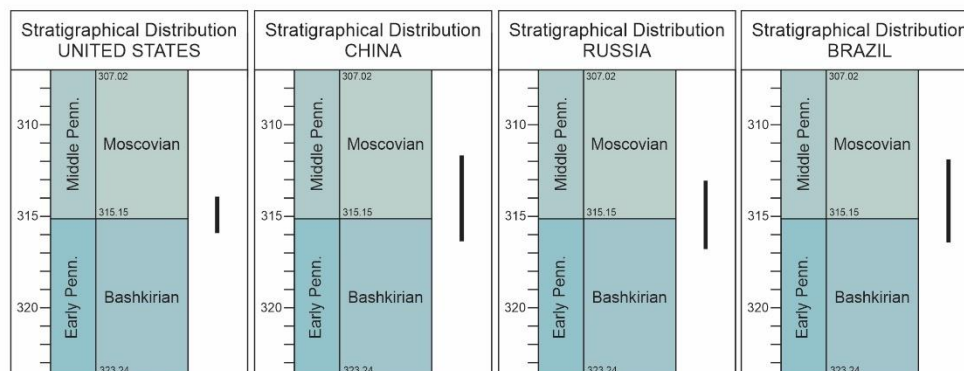
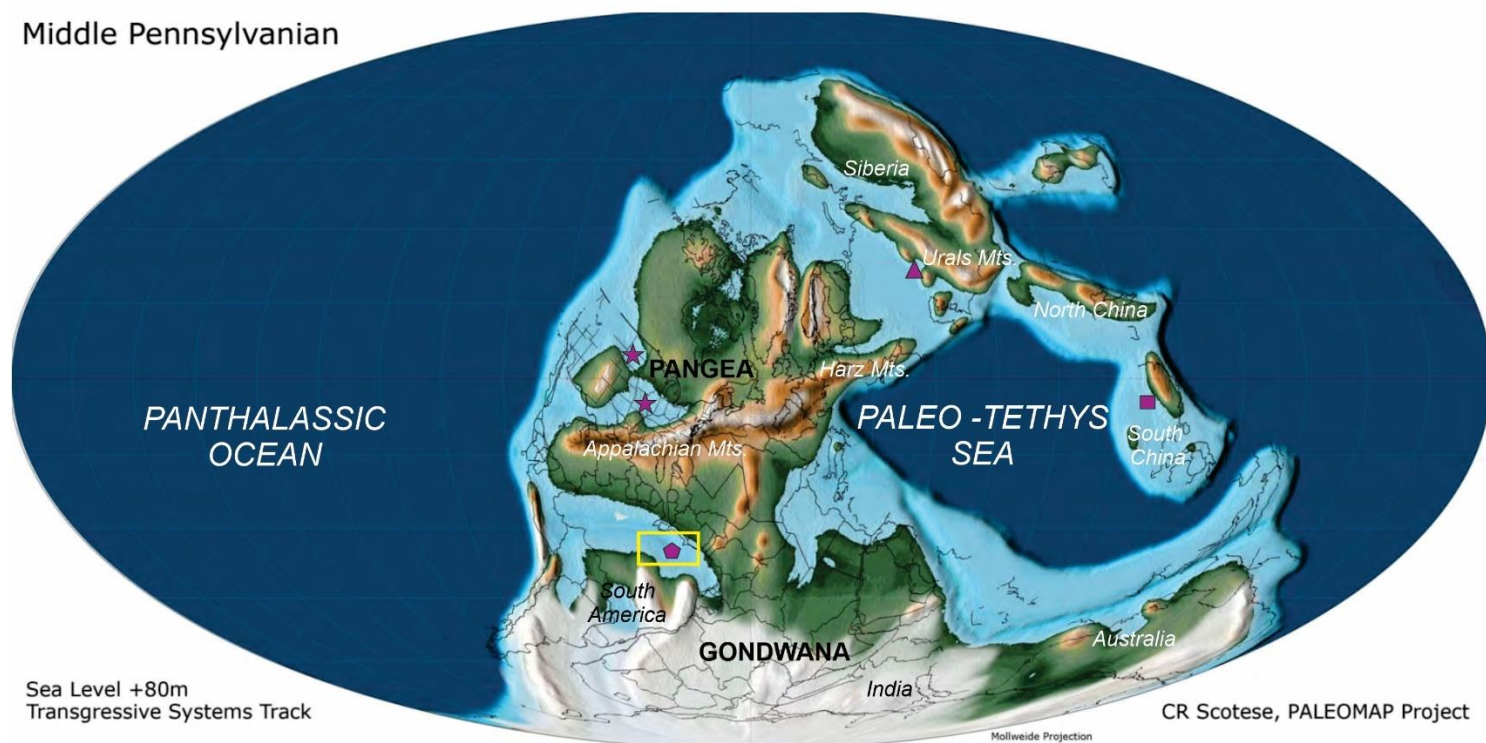


Figura 7.5) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus atokaensis* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).

Middle Pennsylvanian



LEGEND	
★	United States - <i>N. medadulimus</i>
■	China - <i>N. medadulimus</i>
◼	Brazil - <i>N. medadulimus</i>
▲	Russia - <i>N. medadulimus</i>
□	Amazonas Basin's location

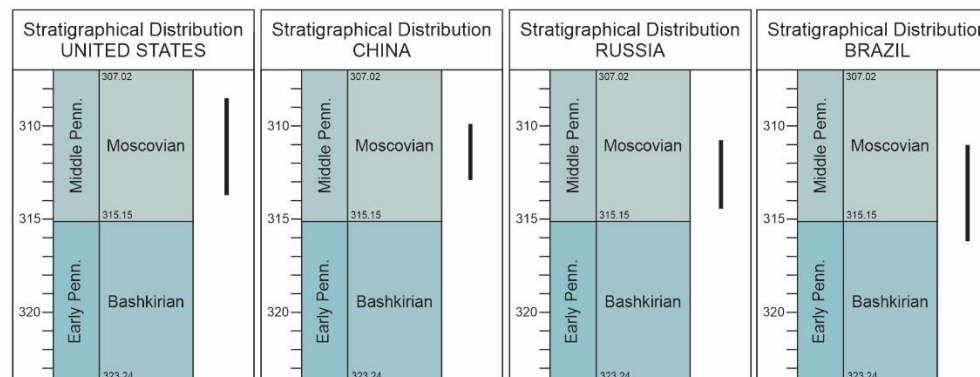


Figura 7.6) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus medadulimus* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).

Middle Pennsylvanian

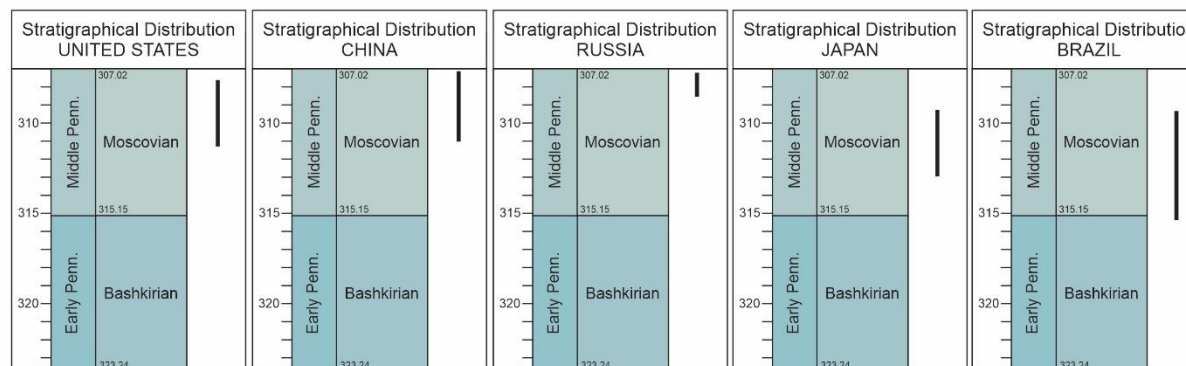
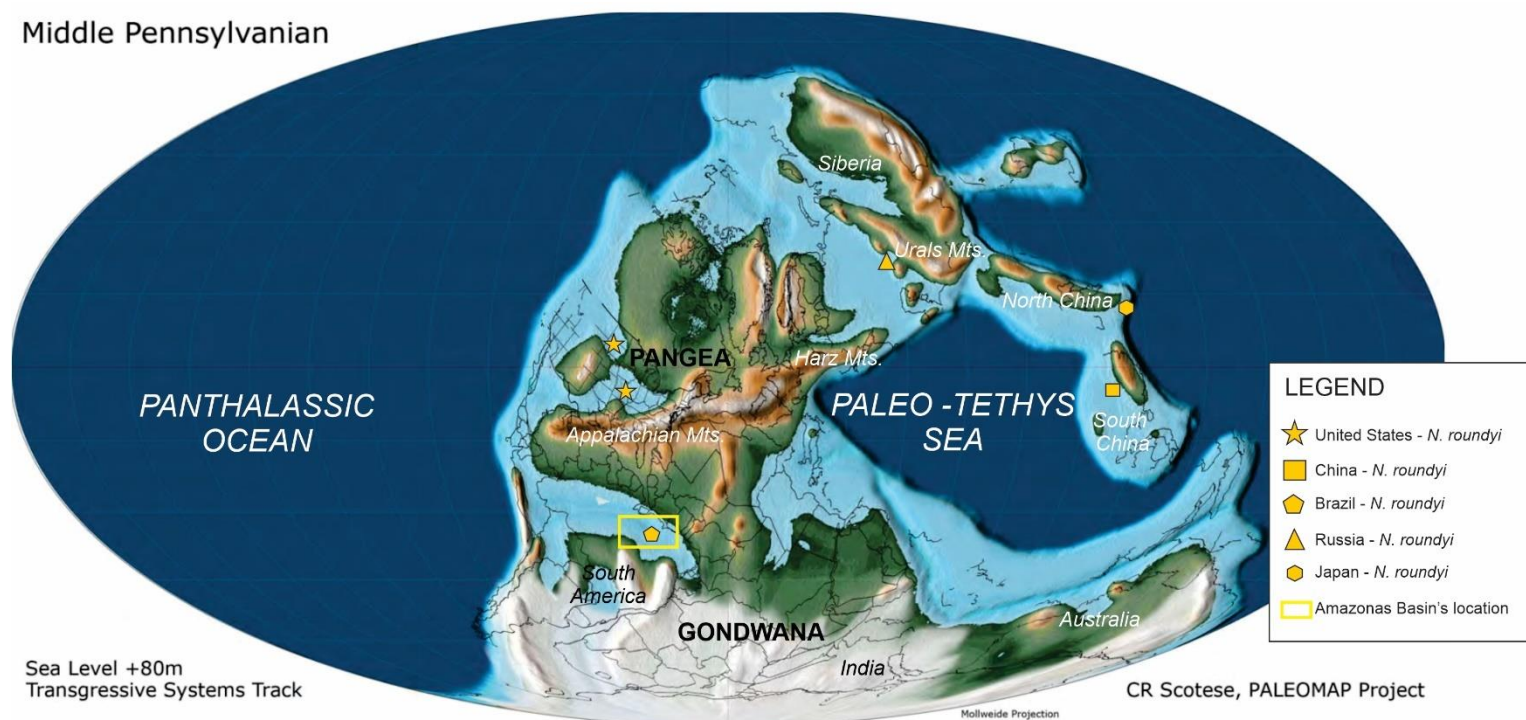
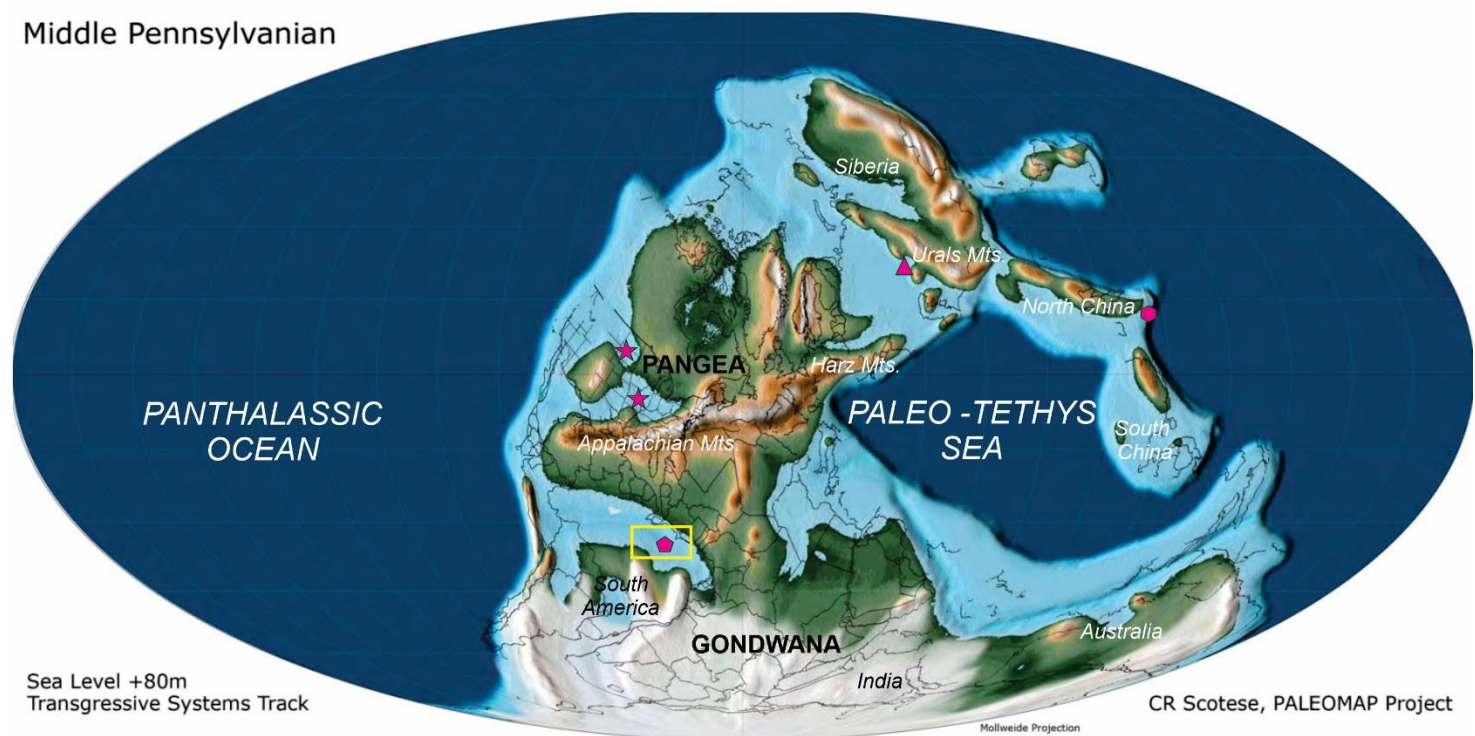


Figura 7.7) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus roundyi* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).

Middle Pennsylvanian



LEGEND	
★	United States - <i>N. bothrops</i>
◆	Brazil - <i>N. bothrops</i>
▲	Russia - <i>N. bothrops</i>
●	Japan - <i>N. bothrops</i>
□	Amazonas Basin's location

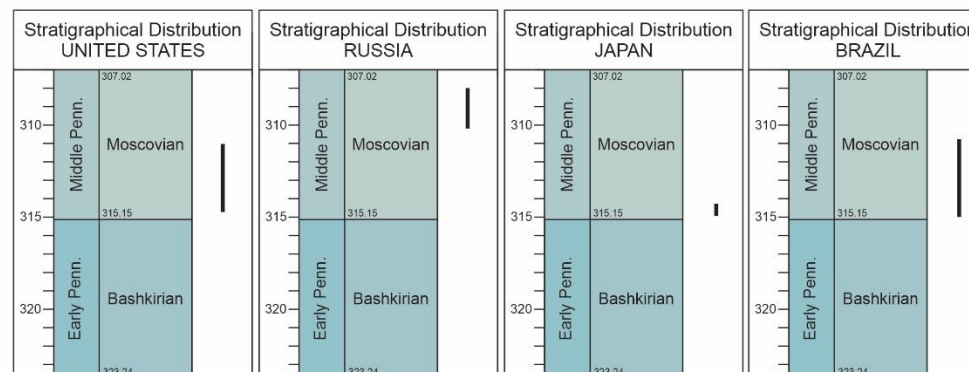


Figura 7.8) Mapa paleogeográfico do Pensilvaniano Médio. Área em amarelo corresponde a Bacia do Amazonas, objetivo deste trabalho. Polígonos correspondem às ocorrências de *Neognathodus bothrops* nas diferentes regiões paleogeográficas mundiais. Modificado de Scotese (2014).

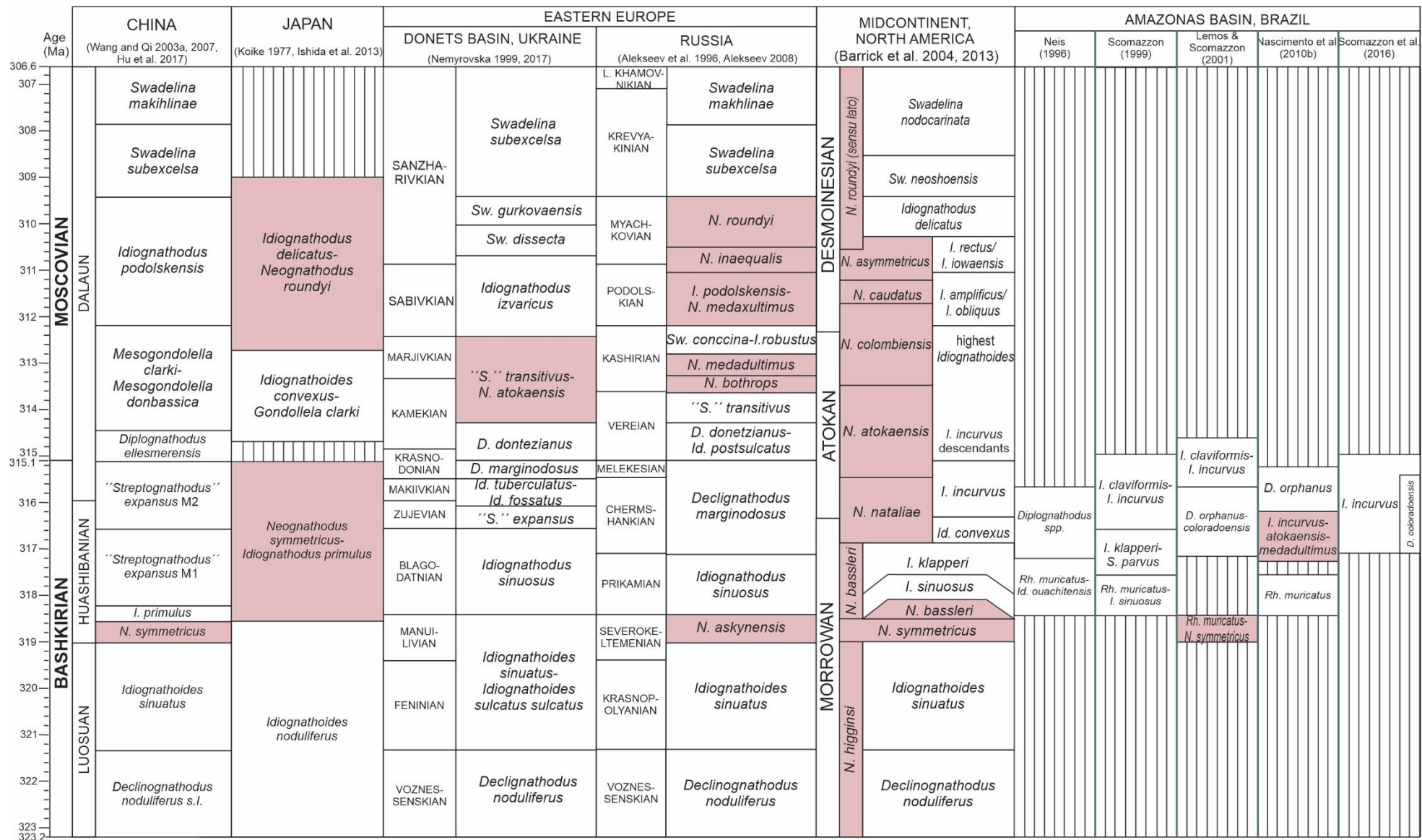


Figura 7.9) Biozoneamento mundial do Bashkiriano e Moscoviano a partir de conodontes. *D.*=*Diplognathodus*, *I.*=*Idiognathodus*, *Id.*=*Idiognathoides*, *N.*=*Neognathodus*, *S.*=*Streptognathodus*, *Sw.*=*Swadelina*. Modificado de Hu et al. (2020).

Neognathodus é reconhecido como um gênero de ambientes neríticos. Segundo Driese et al. (1984), *Neognathodus* é típico de ambientes marinhos normais de intermaré inferior/inframaré. Merrill & von Bitter (1984) postulam que sua ocorrência pode ser ainda mais ampla, ocupando diferentes ambientes dentro da planície de maré. Segundo Sweet (1988), *Neognathodus* esteve presente em ambientes neríticos de águas quentes e oxigenadas, tendo uma distribuição desde *foreshore*, num contexto ambiental mais proximal, até *offshore*, ambientes mais distais. Driese et al. (1984) definem *Adetognathus* em depósitos restritos proximais de elevada energia, enquanto *Idiognathodus* é definido em fácies de ambiente marinho normais de baixa energia. Portanto, *Neognathodus* ocorrendo com *Adetognathus* sugere ambientes proximais de alta energia e a associação *Neognathodus* e *Idiognathodus* irá definir um ambiente mais distal de baixa energia, salinidade normal e substrato lamoso (Fig. 7.10).

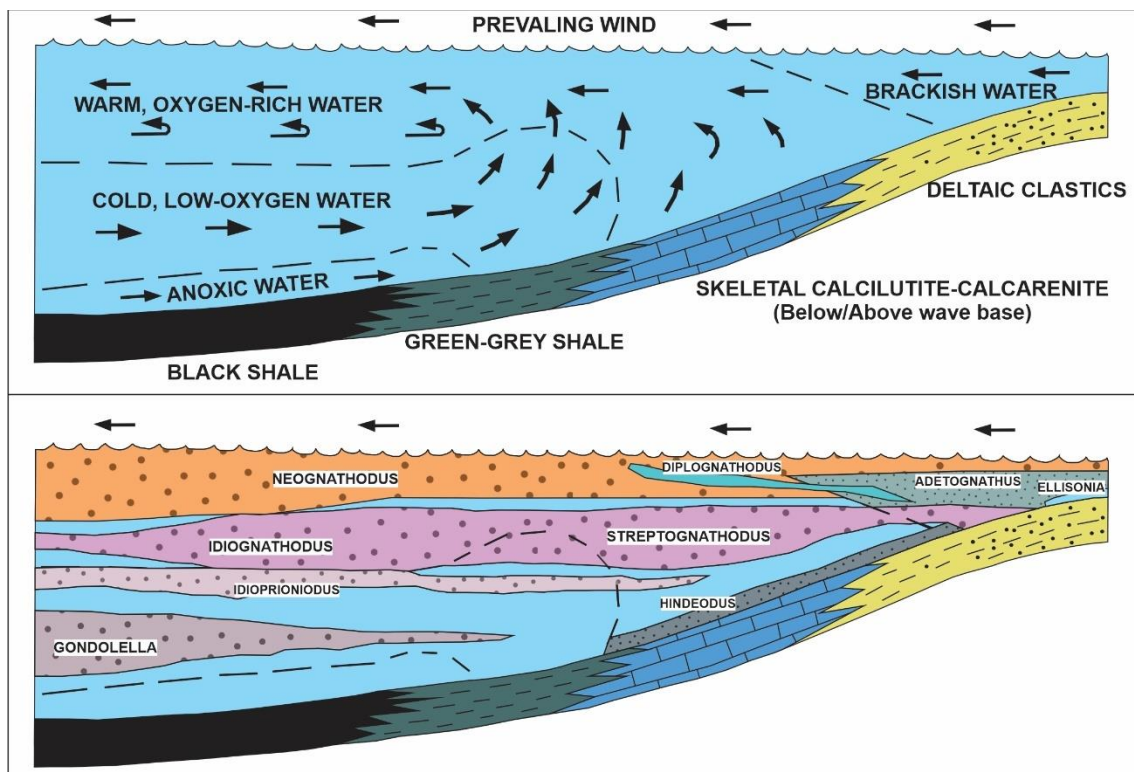


Figura 7.10 Seção transversal hipotética do mar Pensilvaniano no *Midcontinent* americano. Seção superior apresenta as fácies sedimentares e os padrões de circulação. O diagrama inferior apresenta a distribuição inferida do *habitat* dos conodontes. Modificado de Sweet (1998).

A partir das análises dos mapas de distribuição e de ocorrência (**Fig. 6.2 - 6.7 resultados**) das espécies de *Neognathodus* estudadas neste trabalho (*N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. atokaensis*, *N. medadultimus*, *N. roundyi*, *N. bothrops*) na Bacia do Amazonas se observa como a espécie mais basal, *Neognathodus symmetricus* ocorre principalmente na Plataforma Norte, sugerindo que as primeiras ingressões de *Neognathodus* se deu sentido NW-SE. Posteriormente, formas posteriores como *N. bassleri* estão presentes ao longo da bacia, formas mais adaptadas conforme as ingressões marinhas continuavam. Finalmente, as espécies mais superiores como *N. atokaensis*, *N. medadultimus* e *N. roundyi* estiveram restritas a diversas zonas dentro da bacia, conforme ocorriam as regressões marinhas e se tornava um ambiente de condições mais estressantes pros conodontes.

A partir de estudos sedimentológicos, estratigráficos e paleontológicos prévios já citados anteriormente e as análises de poços e afloramentos neste trabalho, se corrobora o *Neognathodus* na Bacia do Amazonas como um gênero de ambientes neríticos, de águas quentes e oxigenadas tanto em contextos proximais de alta energia como em ambientes mais distais de menor energia, águas um pouco mais profundas e periodicamente afetadas por tempestades, característico de uma rampa carbonática, desenvolvida na Bacia do Amazonas durante o Pensilvaniano segundo **Cunha et al. (2007)**.

8. CONCLUSÕES

Na Bacia do Amazonas, *Neognathodus* não é um gênero abundante, mas suas ocorrências são significativas pelo fato de ser marcadores chaves devido a sua rápida evolução taxonômica. *Neognathodus* representa a sequência marinha do Pensilvaniano, observando-se a ocorrência de seis espécies ao longo do Grupo Tapajós: *N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *N. bothrops*.

Com base no reconhecimento dos diferentes táxons de *Neognathodus*, foram determinadas quatro biozonas: três de intervalo *N. symmetricus*/*N. bassleri*, *N. bassleri*/*N. symmetricus*, *N. atokaensis*/*N. bassleri* respectivamente relacionadas

as formações Monte Alegre, Itaituba e porção inferior da Formação Nova Olinda e uma biozona de amplitude do táxon *N. atokaensis* na Formação Itaituba, representando a sequência marinha desde o Bashkiriano médio até o Moscoviano médio.

Na zona de limite entre as Formações Monte Alegre e Itaituba se observa tanto nas plataformas como na Calha central a sobreposição de espécies superiores como *N. roundyi* atribuídas ao Moscoviano com espécies um pouco mais basais como *N. symmetricus* atribuídas como Bashkiriano médio, permitindo o reconhecimento de um possível hiato bioestratigráfico. Recomenda-se analisar detalhadamente a distribuição vertical dos conodontes ao longo dessas camadas para um melhor entendimento desta justaposição.

Em termos paleoambientais, se corrobora *Neognathodus* como um gênero de ambientes neríticos, de águas quentes e oxigenadas tanto em contextos proximais de alta energia como em ambientes mais distais de menor energia, águas um pouco mais profundas e periodicamente afetadas por tempestades.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alekseev, A. S., Kononova, L. I., & Nikishin, A. M. 1996. The Devonian and Carboniferous of the Moscow Syncline (Russian Platform): stratigraphy and sea-level changes. *Tectonophysics*, 268(1-4), 149-168.

Aldridge, R. J.; Briggs, D. E. G.; Clarkson, E. N. K.; Clark, N. D. L. 1993. The anatomy of conodonts. *Philosophical Transaction of Royal Society of London, B*, v. 21, p. 340-405.

Altiner, D.; Savini, R. 1991. Pennsylvanian Foraminifera and Carbonate Microfacies from the Amazon and Solimões Basins: Biostratigraphic, Paleoecologic and Paleogeographic Results. Rio de Janeiro: PETROBRÁS. 239 p. Relatório Interno.

Altiner, D.; Savini, R. 1995. Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões Basin (North Brazil). *Revue de Paleobiologie*, v. 14, n. 2, p. 417-453.

Araújo, J. S.; Rocha-Campos, A. C. 1969. Conodonts from the Itaituba Formation (Pennsylvanian) at well PEST-2-AM Amazon Basin. *Ciência e Cultura*, v. 21, n. 2, p. 221-228.

Barrick, J. E., Lambert, L. L., Heckel, P. H., Rosscoe, S. J., & Boardman, D. R. 2013. Midcontinent Pennsylvanian conodont zonation. *Stratigraphy*, 10(1-2), 55-72.

Benedetto, J. L. 2010. El continente de Gondwana a través del tiempo. *Una introducción a la Geología Histórica*, 329-365.

Çapknoglu S. 2003. First Records of Conodonts from "the Permo-Carboniferous of Demirozu" (Bayburt). Eastern Pontides, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci)* Vol. 12. Pp 199-207.

Caputo, M. V. 2014. Bacia do Amazonas: estratigrafia, tectônica e magmatismo.

Caputo, M. 1984. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. Santa Barbara. University of California. 583p (PhD Thesis).

- Caputo, M. V., & Soares, E. A. A. 2016. Eustatic and tectonic change effects in the reversion of the transcontinental Amazon River drainage system. *Brazilian Journal of Geology*, 46, 301-328.
- Cardoso, C. N., Sanz-López, J., Blanco-Ferrera, S., Lemos, V. B., & Scomazzon, A. K. 2015. Conodont color alteration index and upper Paleozoic thermal history of the Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 64, 139-151.
- Cardoso, C. N., Sanz-López, J., Blanco-Ferrera, S., Lemos, V. B., & Scomazzon, A. K. 2015. Frasnian conodonts at high palaeolatitude (Amazonas Basin, north Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 418, 57-64.
- Cardoso, C. N., Sanz-López, J., & Blanco-Ferrera, S. 2017. Pennsylvanian conodonts from the Tapajós Group (Amazonas Basin, Brazil). *Geobios*, 50(2), 75-95.
- Cordani, U. G.; Brito Neves, B. B.; Fuck, R. A.; Porto, R.; Thomaz Filho, A.; Cunha, F. M. da. 1984. Estudo Preliminar de Integração do Pré- Cambriano com os Eventos Tectônicos das Bacias Sedimentares Brasileiras. Rio de Janeiro, PETROBRAS. Série Ciência-Técnica-Petróleo, v. 15, p. 27-34.
- Costa, M. & Selbach, H. 1981. Estudo sedimentológico da Formação Monte Alegre na área de AutásMirim, Bacia do Amazonas. Relatório Interno. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/DEPEX/LABOR/DENOR/DINTER, 38 p.
- Costa, A. 2002. Tectônica Cenozóica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca. Belém. CG/UFGA. Dissertação de Mestrado. 238p.
- Cunha, P. Melo, J. & Silva, O. 2007. Bacia do Amazonas, Boletim de Geociências. Manaus. PETROBRÁS. 15. n2. 227 – 254p.
- Cunha, P. R. C.; Gonzaga, F. G.; Coutinho, L. F. C.; Feijó, F. J. 1994. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 8, p. 47-55.
- Daemon, R. F.; Contreiras, C. J. A. 1971. Zoneamento Palinológico da Bacia do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, SP, 1976. Anais... São Paulo: SBG. p. 79-88.

- Donoghue, P. C. J.; Purnell, M. A.; Aldridge, R. J. 1998. Conodont anatomy, chordate phylogeny and vertebrate classification. *Lethaia*, v. 31, p. 211-219.
- Driese, S. G.; CARR, T. R.; CLARK, D. L. 1984. Quantitative analysis of Pennsylvanian shallow-water conodont biofacies. In: CLARK, D. L. (Ed.). *Conodont Biofacies and Provincialism*. USA: GSA. Special paper 196, p. 233-250.
- Dunn, D. L. 1966. New Pennsylvanian platform conodonts from southwestern United States. *Journal of Paleontology*, v. 40, n. 6, p.: 1294-1303.
- Dunn, D. L. 1970. Conodont Zonation near the Mississippian-Pennsylvanian Boundary in Western United States. *Geological Society of America Bulletin*, v. 81, p. 2959- 2974.
- Eccher, M. A., Murdaugh, D. J., & Hawkins, W. D. 1983. Early Pennsylvanian conodont-ammonoid biostratigraphy and the Witts Springs problem, north-central Arkansas. *Journal of the Arkansas Academy of Science*, 37(1), 22-24.
- Ekmekçi, E., & Kozur, H. W. 1999. Conodonts of Middle Moscovian Age from the Kongul Formation (Bolkardag Unit), Northwest of Hadim, Central Taurus, Turkey. *Geologia Croatica*, 52(1), 1-8.
- Fallon, P., & Murray, J. 2015. Conodont biostratigraphy of the mid-Carboniferous boundary in Western Ireland. *Geological Magazine*, 152(6), 1025-1042.
- Ferretti, A., Bancroft, A. M., & Repetski, J. E. 2020. GECKO: Global Events Impacting Conodont Evolution.
- Fúlfaro, V. J. 1965. Conodontes do Calcário Itaituba do Carbonífero do Rio Tapajós, Estado do Pará. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v. 14, n. 1/2, p. 29-40.
- Gonzaga, F. G., Gonaves, F. T. T., & Coutinho, L. F. C. 2000. AAPG Memoir 73, Chapter 13: Petroleum Geology of the Amazonas Basin, Brazil: Modeling of Hydrocarbon Generation and Migration.
- Grahn, Y. 2005. Silurian and Lower Devonian chitinozoan taxonomy and biostratigraphy of the Trombetas Group, Amazonas Basin, northern Brazil. *Bulletin of Geosciences*, 80(4), 245-76.

Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D., & Ogg, G. M. (Eds.). 2020. *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier.

Grayson, R. C. Jr. 1984. Morrowan and Atokan (Pennsylvanian) Conodonts from the Northeastern Margin of the Arbuckle Mountains Southern Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey Bulletin*, v. 136, p. 41-63.

Goreva, N. V., & Alekseev, A. S. 2010. Upper Carboniferous conodont zones of Russia and their global correlation. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 18(6), 593-606.

Goudemand, N., Orchard, M.J., Urdy, S., Bucher, H., Tafforeau, P., 2011. Synchrotronaided reconstruction of the conodont feeding apparatus and implications for the mouth of the first vertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 108, 8720–8724.

Gunnell, F. H. 1931. Conodonts from the Fort Scott Limestone of Missouri. *Journal of Paleontology*, v. 5, n. 3, p. 244-252.

Harris, R. W.; Hollingsworth, R. V. 1933. New Pennsylvanian Conodonts from Oklahoma. *American Journal of Science*, v. 5, n. 25, p. 193-204.

Henderson, C.M. 2020. Conodonts. Chapter 3.D. *Geologic Time Scale* In: Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D., & Ogg, G. M. (Eds.). 2020. *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier.

Hoffman, P. F. 1991. Did the breakout of *Laurentia* turn Gondwanaland inside out?. *Science*, 252(5011), 1409-1412.

Hu, K. Y., Qi, Y. P., Wang, Q. L., Nemyrovska, T. I., & Chen, J. T. 2017. Early Pennsylvanian conodonts from the Luokun section of Luodian, Guizhou, South China. *Palaeoworld*, 26(1), 64-82.

Hu, K., Qi, Y., & Nemyrovska, T. I. 2019. Mid-Carboniferous conodonts and their evolution: new evidence from Guizhou, South China. *Journal of Systematic Palaeontology*, 17(6), 451-489.

Hu, K., Qi, Y., Qie, W., & Wang, Q. 2019. Carboniferous conodont zonation of China. *Newsletters on Stratigraphy*, 53(2), 141-190.

Hu K., Qi Y., Chen J., Hogancamp N. & Lambert L. 2018 Conodont biofacies at the Bashkirian-Moscovian (Pennsylvanian) transition and the Bashkirian-Moscovian Boundary in carbonate slope Naqing section, South China. *19th International Congress on the Carboniferous and Permian, Cologne, July 29 – August 2, 2019.*

Huang, X., Zhang, X., Wang, Y., Wang, X., Luan, T., Lin, W., ... & Hu, K. 2020. Integrated biostratigraphy and age assignment for Carboniferous successions in the Qoltag tectonic belt in eastern Tianshan, NW China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 207, 104630.

Ishida, K., Suzuki, S., & Inada, N. 2013. Visean–Moscovian conodont biostratigraphy of the Ko-yama Limestone Group, Akiyoshi Belt, SW Japan. *Natural Science Research, University of Tokushima*, 27, 29-52.

Kabanov, P., & Alekseev, A. S. 2011. Progress in cyclothem/sequence stratigraphy of type Lower Moscovian succession of Moscow Basin, Russia. *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, 29, 42-50.

Lambert, L. L. 1992. Atokan and basal Desmoinesian conodonts from central Iowa, reference area for the Desmoinesian Stage. *Oklahoma Geological Survey Circular*, 94, 111-123.

Lane, G. 1967. Uppermost Mississippian and Lower Pennsylvanian Conodonts from the Type Morrowan Region, Arkansas. *Journal of Paleontology*, v. 41, n. 4, p. 920- 942. 136.

Lane, H. R., & Straka, J. J. 1974. Late Mississippian and Early Pennsylvanian conodonts, Arkansas and Oklahoma (Vol. 152). Geological Society of America.

Lemos, V. B. 1990a. Assembléias de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas. 1990. 259f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Lemos, V. B. 1990b. Upper Carboniferous Conodonts from the Amazon and Solimões Basins, Brazil. In: *LATIN AMERICAN CONODONT SYMPOSIUM*, 1. 1990. Córdoba, AR, Resúmenes... Córdoba: ANC, p. 105-106. (Project 271).

Lemos, V. B. 1992a. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia - Parte I. Pesquisas, v. 19, n. 1, p. 75-93.

Lemos, V. B. 1992b. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia - Parte II. Pesquisas, v. 19, n. 2, p. 120-131.

Lemos, V. B.; Medeiros, R. A. 1989. Transgressões e Regressões Cíclicas e Ocorrência de Conodontes no Morrowano e Atokano na Bacia do Amazonas. In: Simpósio de Marcos Estratigráficos, 2., Curitiba, PR, 1989. Anais...Curitiba: SBP., v. 2, p. 961-969.

Lemos, V. B.; Medeiros, R. A. 1996a. O Limite Morrowano/Atokano na Bacia do Amazonas, Brasil, com Base em Conodontes. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, v. 10, n. 1/4, p. 165-173.

Lemos, V. B.; Medeiros, R. A. 1996b. Conodontes do Carbonífero Inferior da Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, v. 10, n. 1/4, p. 55-60.

Lemos, V. B.; Scmazzon, A. K. 2001. The Biochronostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil based on Conodonts. In: WORKSHOP CORRELAÇÃO DE SEQÜÊNCIAS PALEOZÓICAS SUL-AMERICANAS, 2001. (Ciência Técnica Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo, n. 20).

Ludwig G. 1964. Geology of the Marajó Basin. Rio de Janeiro: Petrobras/Departamento de Exploração/ Divisão de Exploração. Relatório Interno, 20 p.

Matsuda, N. Dino, R. Wanderley Filho, J. 2004. Revisão litoestratigráfica do Grupo Tapajós, Carbonífero Médio – Permiano da Bacia do Amazonas. Manaus. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 12, n. 2, p. 435 -441.

Matsuda, N.S., 2003. Carbonate Sedimentation Cycle and Origin of Dolomite in the Lower Pennsylvanian Intracratonic Amazon Basin, Northern Brazil. University of Tokyo, Tokyo, p. 231. PhD Thesis, Department of Earth & Planetary Sciences.

Matsuda, N.S., Dino, R., Wanderley-Filho, J.R., 2005. Revisão litoestratigráfica do Grupo Tapajós, Carbonífero médio e Permiano da Bacia do Amazonas. Bol. Geocienc. Petrobras 12 (2), 435-441.

Matsuda, N. S.; Winter, W. R.; Wanderley Filho, J. R.; Cacula, A. S. M. O 2010. Paleozóico da borda sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós – Estado do Pará. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 18, p. 123-152.

Melo J.H.G., Loboziak S. 2003. Devonian-Early Carboniferous miospore biostratigraphy of the Amazon Basin, northern Brazil. Review of Palaeobotany and Palynology, 124:131-202.

Méndez, C. A. 2006. Upper Moscovian-middle Kasimovian conodonts (Pennsylvanian, Carboniferous) from the Las Llacerias Section (Cantabrian Zone, north Spain). *Geobios*, 39(2), 245-254.

Merrill, G. K. 1972. Taxonomy, phylogeny and biostratigraphy of *Neognathodus* in Appalachian Pennsylvanian rocks. *Journal of Paleontology*, v. 46, p. 817-829.

Merrill, G. K. 1999. *Neognathodus* and the species concept in conodont paleontology. *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, v. 37, p. 465-473.

Merrill, G. K.; Von Bitter, P. H. 1984. Facies and frequencies among Pennsylvanian conodonts: Appatatuses and abundances. In: *Conodont Biofacies and Provincialism*. Geological Society of America Special Paper, v. 196, p. 251-261.

Milani, E. J., Zalán P. V. 1998. The Geology of Paleozoic Cratonic Basins and Mesozoic Interior Rifts of Brazil – AAPG Int. Conf. & Exhibition – Rio de Janeiro, Brazil - Short Course Coord. Carminatti, M.

Mizuno, Y. 1997. Conodont faunas across the mid-Carboniferous boundary in the Hina Limestone, southwest Japan. *Paleontological Research*, 1(4), 237-259.

Moutinho, L.P., 2006. Assinaturas tafonômicas dos invertebrados da Formação Itaituba - Aplicação como ferramenta de análise estratigráfica e paleoecológica na seção Pensilvaniana aflorante na porção sul da Bacia do Amazonas. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 325.

Moutinho, L.P., Scmazzon, A.K., Nascimento, S., Lemos, V.B., 2003. Invertebrate taphonomy and paleoenvironmental characterization of carbonates from the Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin, Brazil. In:

18º Congresso Brasileiro de Paleontologia, Brasília, DF, 2003, p. 204. Resumos...Brasília.

Nascimento, S.; Scomazzon, A. K.; Moutinho, L. P.; Lemos, V. B.; Matsuda, N. S. 2005. Conodont biostratigraphy of two calcareous quarries - Lower Itaituba Formation, Atokan Age, Amazonas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 8, p. 193-202.

Nascimento, Sara 2008. Conodontes e a cronoestratigrafia da base da seção pensilvaniana, na Região de Itaituba, Porção Sul da Bacia do Amazonas, Brasil. 2008. 246 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Curso de PósGraduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Nascimento, S.; Smaniotto, L. P.; Souza, P. A.; Lemos, V. B.; Scomazzon, A. K. 2009. Biochronostratigraphy (conodonts and palynology) from selected strata of the Itaituba Formation, Pará State, Brazil. *Pesquisas em Geociências*, v. 36, p. 37-47.

Nascimento, S., Lemos, V. B., Scomazzo, A. K., Matsuda, N. S., & da Silva, C. P. 2010. First occurrence of *Ellisonia*, *Gondolella* and *Ubinates* (Conodonts) in Itaituba Formation, Pennsylvanian of Amazonas Basin, Brazil. *Gaea: Journal of Geoscience*, 6(2), 56.

Nascimento, S., Scomazzon, A. K., Lemos, V. B., Moutinho, L. P., & Matsuda, N. S. 2010. Bioestratigrafia e paleoecologia com base em conodontes em uma seção de carbonatos marinhos do Pensilvaniano inferior, Formação Itaituba, borda sul da Bacia do Amazonas, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 37(3), 243-256.

Neis, P. A. 1996. Resultados Biocronoestratigráficos das Associações de Conodontes da Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas. 1996. 138f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Nemliher, J., Kallaste, T., 2012. Conodont bioapatite resembles vertebrate enamel by XRD properties. *Estonian Journal of Earth Sciences* 61, 191–192.

- Nemyrovskaya, T. I. 2017. Late Mississippian–middle Pennsylvanian conodont zonation of Ukraine. *Stratigraphy*, 14(1-4), 299-318.
- Orchard, M. J., Cordey, F., Rui, L., Bamber, E. W., Mamet, B., Struik, L. C., ... & Taylor, H. J. 2001. Biostratigraphic and biogeographic constraints on the Carboniferous to Jurassic Cache Creek Terrane in central British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 38(4), 551-578.
- Pasero, M., Kampf, A.R., Ferraris, C., Pekov, I.V., Rakovan, J., White, T.J., 2010. Nomenclature of the apatite supergroup minerals. *Eur. J. Mineral.* 22, 163–179.
- Picarelli, A. T.; Quadros, L. P. 1991. Bioestratigrafia do Permiano e Carbonífero das Bacias do Solimões, Amazonas, Acre e Parnaíba com base em fusulinídeos, palinologia, conodontes. Rio de Janeiro, 93p. Relatório Interno da PETROBRÁS.
- Pietzner, Horst, Vahl. Johanna, Werner, Hans, and Ziegler, Willi, 1968. Zur chemischen Zusammensetzung und Mikromorphologie der Conodonten: *Palaeontographica*, v. 128, pt. A, p. 115- 152.
- Playford, G. B; Dino, R. 2000a. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part one. *Palaeontographica Abt. B*, v. 255, p. 1-46.
- Playford, G. B.; Dino, R. 2000b. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part two. *Palaeontographica Abt. B*, v. 255, p. 87-145.
- Qi, Y. P., Lambert, L. L., Nemyrovskaya, T. I., Wang, X. D., Hu, K. Y., & Wang, Q. L. 2016. Late Bashkirian and early Moscovian conodonts from the Naqing section, Luodian, Guizhou, south China. *Palaeoworld*, 25(2), 170-187.
- Qi, Y., Hu, K., Wang, Q., & Lin, W. 2014. Carboniferous conodont biostratigraphy of the Dianzishang section, Zhenning, Guizhou, South China. *Geological Magazine*, 151(2), 311-327.
- Ritter, S. M., Barrick, J. E., & Skinner, M. R. 2002. Conodont sequence biostratigraphy of the Hermosa Group (Pennsylvanian) at Honaker Trail, Paradox Basin, Utah. *Journal of Paleontology*, 76(3), 495-517.

Ritter, S. M., 1995. Upper Missourian–Lower Wolfcampian (Upper Kasimovian–Lower Asselian) conodont biostratigraphy of the Midcontinent, USA. *Journal of Paleontology* 69, 1139–1154.

Rocha-Campos, A. C.; Archangelsky, S. 1986. South America. In: WAGNER, R. H.; PRINS, W.; GRANATOS, J. F. (Ed.). *The Carboniferous of the World II, Australia, Indian Subcontinent, South Africa, South America & North Africa*. IUGS Publication, Instituto Geológico y Marino de España, Madrid, v. 20, p. 175-272.

Rocha-Campos, A.c.; Pedrão, E.; Lemos, V.B. 1988. Índices de Alteração de Cor (IAC) de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas. In: Congresso Argentino de Paleontologia y Bioestratigrafía, 4., Mendoza, ARm 1986. Resúmenes...Mendoza: p.235-236.

Robison, R. A. 1981. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Lawrence, Geological Society of America. Part W, supplement 2, Conodonta. 202p.

Sanz-López, J., & Blanco-Ferrera, S. 2012. Lower Bashkirian conodonts from the Iraty Formation in the Aldudes-Quinto Real Massif (Pyrenees, Spain). *Geobios*, 45(4), 397-411.

Scomazzon, A. K. 1999. Refinamento bioestratigráfico com base em conodontes, no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas – Região do Tapajós. 1999. 142f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pósgraduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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. 2004. 294f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Scomazzon, A. K.; Lemos, V. B. 2005. *Diplognathodus* occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 8, n. 3, p.203-208.

Scomazzon, A. K., Moutinho, L. P., Nascimento, S., Lemos, V. B., & Matsuda, N. S. 2016. Conodont biostratigraphy and paleoecology of the marine sequence of

the Tapajós Group, Early-Middle Pennsylvanian of Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 65, 25-42.

Silva, O. B.; Lemos, V. B. 1996. Controle dos Ciclos Sedimentares na Distribuição Estratigráfica dos Conodontes do Pensilvaniano (Fm. Itaituba) - Bacia do Amazonas. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5. Belém, PA, 1966. Anais... Belém: SBG. p. 199- 202.

Silva, P. A. S. D. 2019. O mar epicontinental Itaituba na região central da Bacia do Amazonas: paleoambiente e correlação com os eventos paleoclimáticos e paleoceanográficos do carbonífero.

Sungatullina, G. 2014. Determination of the Bashkirian–Moscovian boundary in the Volga region via conodont species *Declinognathodus donetzianus Nemirovskaya*. *Geological Magazine*, 151(2), 299-310.

Sungatullina, G. M., & Davydov, V. I. 2014. New data on conodonts from the Kasimovian Stage of the Usolka section, southern Ural Mountains. *Paleontological Journal*, 49(10), 1142-1149.

Sweet, W. C. 1988. The Conodonta, Morphology, Taxonomy, Palaeoecology and Evolutionary History of a Long-Extinct Animal Phylum. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, n. 10, 212p.

Tengan, C.; Shimabukuru, S.; Rocha-Campos, A. C. 1976. Conodontes Carboníferos do poço FB-ST-1-AM Bacia do Amazonas, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. Ouro Preto, MG, 1976. Anais... Ouro Preto: SBG. p. 365.

Trotter, J.A., Williams, I.S., Barnes, C.R., Lécuyer, C., Nicoll, R.S., 2008. Did cooling oceans trigger ordovician biodiversification? Evidence from conodont thermometry. *Science* 321, 550–554.

Walasek, N., Loydell, D.K., Frýda, J., Männik, P., Loveridge, R.F., 2018. Integrated graptolite-conodont biostratigraphy and organic carbon chemostratigraphy of the Llandovery of Kallholn quarry, Dalarna, Sweden. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 508, 1–16.

Wanderley filho, J. 1991. Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua correlação com o embasamento. Belém, CG/UFPA. Dissertação de Mestrado. 125p.

Wang, Q., Wang, Y., Qi, Y., Wang, X., Choh, S. J., Lee, D. C., & Lee, D. J. 2017. Revised conodont and fusuline biostratigraphy of the Bamchi Formation (Pyongan Supergroup) at the Bamchi section, Yeongwol and the Carboniferous–Permian boundary in South Korea. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, 42(2), 244-257.

Vásquez, M & Rosa – Costa, L. 2008 (Eds.). Geologia e recursos minerais do estado do Pará. Escala1: 1. 000.000. CPRM Serviço geológico do Brasil. 328p.

Zalán P.V. 2004. A Evolução Fanerozóica das Bacias Sedimentares Brasileiras. In: Montesso- Neto, V., Bartorelli A., Carneiro C. Brito-Neves B. Geologia do Continente Sul- Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo. Ed. Becca, p.595- 612p.

Zhihao, W., & Yuping, Q. 2003. Upper Carboniferous (Pennsylvanian) conodonts from South Guizhou of China. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 109(3).

Zimmerman, A. N., Brown, L. M., & Rexroad, C. B. 2018. A Neognathodus-based biozonation of the Desmoinesian Series (Pennsylvanian) in the Illinois Basin, USA. *Journal of Paleontology*, 93(4), 785-797.

ARTIGO

Artigo 'The conodont genus *Neognathodus* Dunn, 1970 Lower to Middle Pennsylvanian, Amazonas Basin, in the Western Gondwana: biostratigraphic and paleoenvironmental analysis' submetido na revista *Marine Micropaleontology*

Marine Micropaleontology
The conodont genus *Neognathodus* Dunn, 1970 Lower to Middle Pennsylvanian, Amazonas Basin, in the Western Gondwana: biostratigraphic and paleoenvironmental analysis
 --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Research Paper
Keywords:	Amazonas Basin, Tapajós Group, Pennsylvanian conodonts, Neognathodus.
Corresponding Author:	Andrés Felipe Rojas Mantilla Universidade Federal do Rio Grande do Sul BRAZIL
First Author:	Andrés Felipe Rojas Mantilla
Order of Authors:	Andrés Felipe Rojas Mantilla Ana Karina Scomazzon Sara Nascimento Renata dos Santos Alvarenga Valesca Brasil Lemos Paulo Alves de Souza
Manuscript Region of Origin:	South America
Abstract:	Conodonts are very abundant, presents a wide occurrence worldwide and a high evolution rate during the Paleozoic and the Triassic times, providing the recognition of more than 240 biozones over the 300 million years of their geological history. Neognathodus comprises species useful as biostratigraphic markers for the early-to-middle Pennsylvanian succession. In this paper, we analyze the records of this genus within the Amazonas Basin, northern of Brazil, based on 18 wells and several outcropping sections, including limestone exploratory mines, related to the marine deposits of the Tapajós Group (Monte Alegre, Itaituba and Nova Olinda formations). Taxa have been revised, updated and some have been reclassified according to current international taxonomy. All records of this genus were morphologically analyzed using stereomicroscope and SEM (Scanning Electronic Microscope) images, allowing the recognition of six species: <i>N. symmetricus</i> , <i>N. bassleri</i> , <i>N. medadulitimus</i> , <i>N. atokaensis</i> , <i>N. bothrops</i> and <i>N. roundyi</i> . The occurrences of these species as well their areal distribution in the basin were detailed, resulting in several modeling stratigraphical maps. Four biozones are proposed herein, in ascending stratigraphical order: (i) <i>N. symmetricus</i> - <i>N. bassleri</i> interval Zone, (ii) <i>N. bassleri</i> - <i>N. symmetricus</i> interval Zone, (iii) <i>N. atokaensis</i> taxon range Zone and (iv) <i>N. atokaensis</i> - <i>N. bassleri</i> interval Zone. A middle Bashkirian to middle Moscovian age are assigned to the studied marine deposits of the Tapajós Group. Neognathodus is considered worldwide neritic, warm and oxygenated water environments both in high energy proximal contexts and in lower energy more distal environments, slightly deeper waters and periodically affected by storms.
Suggested Reviewers:	Guillermo Albanesi National University of Cordoba: Universidad Nacional de Cordoba galbanesi@arnet.com.ar Geologist, conodontologist, experience in biostratigraphy, stratigraphy. Ke-Yi Hu Nanjing University kyhu@nigpas.ac.cn Conodontologist, experience in Carboniferous conodonts, biostratigraphy James Barrick Texas Tech University jim.barrick@ttu.edu

Powered by Editorial Manager® and ProXion Manager® from Aries Systems Corporation

Confirming submission to Marine Micropaleontology 🔍 📧

Marine Micropaleontology <em@editorialmanager.com>
 para mi - 12:44 (hace 3 horas) ☆ ↶ ⋮

This is an automated message.

The conodont genus *Neognathodus* Dunn, 1970 Lower to Middle Pennsylvanian, Amazonas Basin, in the Western Gondwana: biostratigraphic and paleoenvironmental analysis

Dear Mr. Mantilla,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Marine Micropaleontology.

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

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
 Marine Micropaleontology

More information and support

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

FAQ: How can I reset a forgotten password?
https://service.elsevier.com/api/answers/detail/a_6472452/supporthub/publishing/ew/editorial+manager/

For further assistance, please visit our customer service site <https://service.elsevier.com/api/home/supporthub/publishing/>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email.

#AU_MARMIC#

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

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/marmic/login.asp?ae=1>) Please contact the publication office if you have any questions.

The conodont genus *Neognathodus* Dunn, 1970 Lower to Middle Pennsylvanian, Amazonas Basin, in the Western Gondwana: biostratigraphic and paleoenvironmental analysis

Andrés Felipe Rojas Mantilla^{1*}, Ana Karina Scomazzon¹, Sara Nascimento¹, Renata dos Santos Alvarenga², Valesca Brasil Lemos¹, and Paulo A. Souza³

¹Departamento de Paleontologia, Laboratório de Conodontes e Foraminíferos, Universidade Federal Rio Grande do Sul, RS.

²Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, PRH-14 – Geologia do Petróleo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

³Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Universidade Federal Rio Grande do Sul, RS.

*Corresponding author: e-mail address andres.mantilla@ufrgs.br

Abstract. —Conodonts are very abundant, presents a wide occurrence worldwide and a high evolution rate during the Paleozoic and the Triassic times, providing the recognition of more than 240 biozones over the 300 million years of their geological history. *Neognathodus* comprises species useful as biostratigraphic markers for the early-to-middle Pennsylvanian succession. In this paper, we analyze the records of this genus within the Amazonas Basin, northern of Brazil, based on 18 wells and several outcropping sections, including limestone exploratory mines, related to the marine deposits of the Tapajós Group (Monte Alegre, Itaituba and Nova Olinda formations). Taxa have been revised, updated and some have been reclassified according to current international taxonomy. All records of this genus were morphologically analyzed using stereomicroscope and SEM (Scanning Electronic Microscope) images, allowing the recognition of six species: *N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. bothrops* and *N. roundyi*. The occurrences of these species as well their areal distribution in the basin were detailed, resulting in several modeling

stratigraphical maps. Four biozones are proposed herein, in ascending stratigraphical order: (i) *N. symmetricus*-*N. bassleri* interval Zone, (ii) *N. bassleri*-*N. symmetricus* interval Zone, (iii) *N. atokaensis* taxon range Zone and (iv) *N. atokaensis*-*N. bassleri* interval Zone. A middle Bashkirian to middle Moscovian age are assigned to the studied marine deposits of the Tapajós Group. *Neognathodus* is considered worldwide neritic, warm and oxygenated water environments both in high energy proximal contexts and in lower energy more distal environments, slightly deeper waters and periodically affected by storms.

Keywords: Amazonas Basin, Tapajós Group, Pennsylvanian conodonts, *Neognathodus*.

Introduction

Conodonts are marine microvertebrates that lived from the late Cambrian to the Triassic. They are fossils useful for biostratigraphy during the Paleozoic Era (Henderson, 2020). They presented a wide occurrence worldwide and a high evolution rate through the time, represented by successive biozones, especially along the upper Paleozoic. In addition, they are important paleoecological and paleoenvironmental indicators of the environment, besides they represent fundamental pieces in the understanding of the first vertebrates.

The pioneer studies of conodonts in the Amazonas Basin were performed by Fúlfaro (1965), Araújo & Rocha-Campos (1969), Tengan et al. (1976), Rocha-Campos & Archangelsky (1986), Rocha-Campos et al. (1988), and Lemos & Medeiros (1989).

Lemos (1990, 1992a, 1992b) presented taxonomic analysis of conodonts derived from the marine deposits of the Amazonas and Solimões basins, indicating Pennsylvanian ages for certain sections. These studies were followed by biostratigraphical and paleoecological analysis (Neis (1996), Scomazzon (1999), Lemos & Scomazzon (2001), Scomazzon (2004), Nascimento et al. (2005), Nascimento et al. (2009), Nascimento et al. (2010), Cardoso et al. (2015), Scomazzon et al. (2016), and Cardoso et al. (2017), based on material derived from the Pennsylvanian deposits of the Amazonas Basin. In the 2000s, the first

isotopic tests began with Sr/Sr and Sm/Nd expanding knowledge about the Amazonas Basin (Koester et al. 2021).

The conodont elements from the Amazonas Basin have shown affinities with specimens from the North American Midcontinent. Nevertheless, paleoenvironmental differences lead to slight morphological variations.

Genera such as *Idiognathodus*, *Diplognathodus*, *Streptognathodus*, *Idiognathoides* and *Neognathodus* have been important in the stratigraphic zoning of the marine sequence in the Pennsylvanian of the Amazonas Basin. However, *Neognathodus* is especially used as guide for Bashkirian and Moscovian zonings due to its wide occurrence, great morphological variation and easy recognition in these ages.

It is necessary to detail the distribution of *Neognathodus* in the Amazonas Basin. The results will help in a better understanding of the genus, analyzing its main morphological characteristics, as well as its lateral and vertical occurrences. The identification of *Neognathodus* in detail will allow for a refinement in biostratigraphy already done so far and a better understanding of evolution and paleoenvironmental conditions.

Species assigned to *Neognathodus* genus were analyzed herein derived from 18 wells and 6 outcrops to better understand their distribution in the Amazonas Basin and use them as a biostratigraphic tool in the zoning of the marine section of the Pennsylvanian of the Tapajós Group, in the Amazonas Basin.

Geological setting

The Amazonas Basin is a large paleozoic synclisis, with an elongated and almost an ellipsoidal shape in the WSW-ENE direction, located in the northern equatorial region of Brazil (Fig. 1) (Caputo & Soares, 2016). Geologically, this basin is limited to the north by the Guyana Shield, to the south by the Brazilian Shield, to the east by the Gurupá arch and to the west by the Purus arch. It has an area of 500,000 km² with 1,300 km in length and 380 km in average width and a sedimentary and igneous filling of about 5,000 m in thickness (Cunha et al., 1994; Costa, 2002; Cunha et al., 2007; Caputo & Soares, 2016).

(FIG. 1 MAP OF THE AMAZONAS BASIN)

In structural and depositional terms, the Amazonas Basin is divided into three distinct sectors, generally tending east and west and evolving sedimentary and igneous strata recorded from 500 Ma to the present. Between the north and south platforms, there is a deeper central area. Paleozoic rocks arise along the northern and southern boundaries of the basin. This last outcropping area, mainly along the Tapajós River, is the most studied in relation to Paleozoic macrofossils, such as brachiopods, bryozoans, crinoids and corals, and microfossils such as conodonts (Scomazzon et al. 2016).

The Phanerozoic sedimentary framework of the Amazonas Basin can be divided into two first-order megasequences: the first megasequence corresponds to the Paleozoic composed of sedimentary rocks of varied nature, intruded by Mesozoic diabase dykes and sills; and the second Meso-Cenozoic megasequence is constituted by the Cretaceous and Paleogene sequences (Matsuda et al., 2010).

(FIG.2. Stratigraphic Chart)

The Paleozoic megasequence is subdivided into four second order sequences, limited by regional unconformities: (i) an Ordovician-Devonian Sequence (Trombetas Group); (ii) a Devonian-Tournaisian sequence (Urupadi and Curuá Groups); (iii) a Neovisean sequence (Faro Formation); and (iv) a Pennsylvanian-Permian sequence (**Tapajós Group**) (**Fig. 2**).

The Pennsylvanian-Permian Sequence is a transgressive-regressive depositional cycle, constituted by the Monte Alegre, the Itaituba, the Nova Olinda and the Andirá formations, which form the Tapajós Group (Cunha et al., 2007). It is suggested that the deposition of this group is related to sea level oscillations

that reflect changes in the volume of ice occurring in the Gondwana Supercontinent (Caputo, 2016).

The Tapajós Group represents a second order cycle marked by an initial fluvio-aeolian siliciclastic deposition interspersed with layers of carbonates deposited in a shallow to restricted marine environment of the Monte Alegre Formation, followed by a predominantly carbonate/evaporitic and siliciclastic sequence of the Itaituba Formation, deposited also in shallow marine environment. Subsequently, the Nova Olinda Formation is constituted by evaporitic siliciclastic and marine carbonate deposits. Finally, the cycle is finalized with the deposition of sediments from the Andirá Formation, formed by reddish siliciclastics, rare evaporites and carbonates deposited mostly in a fluvial/lacustrine to restricted marine environment (Matsuda et al.,2004).

Materials and methods

All *Neognathodus* records in the Amazonas Basin were revised from the 12 publications and other materials housed at the Laboratório de Conodontes e Foraminíferos (LACONF), of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). This data corresponds to 423 specimens of the *Neognathodus* genus from 18 wells, distributed in the north platform, central area and south platform, and six outcrops located in the south platform of the Amazonas Basin.

Images of previously selected publications of the species of *Neognathodus* were observed for the purpose of recognizing the genus and its species. The images were taken by a stereomicroscope or SEM – scanning electron microscope.

From the morphological characteristics of the different species of *Neognathodus* analyzed, key characteristics of each species in the Amazonas Basin were selected to obtain the taxonomic classification. Based on these characteristics, the specimens already described were reviewed, and those that were not in accordance with the characteristics determined within the basin were rewritten compared with world collections. They were later reclassified according to the original description of the type-species, considering the possible regional variations in the Amazonas Basin.

Once all the information was compiled, tables were generated with data on the sampling site, well/outcrop, location coordinates, the species of *Neognathodus* present, the beds of the occurrence where the lithology and thickness are specified, the top and base of the bed and to which lithological formation it corresponds.

Subsequently, the tables were used as a proxy for the Petrel software, where these organized data are the basis for the generation of distribution maps of the different species of *Neognathodus* studied in the Amazonas Basin and the realization of isopach maps of the main species and their assemblies.

For the elaboration of occurrence maps (isopaque), each specie was grouped together with its association, obtaining a map of the distribution of the main specie, such as the distribution of *Neognathodus symmetricus* and its association *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. roundyi*, *N. askynensis*, *N. inaequalis*, *N. bothrops*, *N. tsnensis*, *N. colombiensis*, *N. uralicus* e *N. sp.*

The interpretation of Petrobras well records was also used to obtain a two-dimensional representation of the different lithologies that make up the wells, calibrated with the depths of the beds. The data were modeled using the CorelDraw software, thus obtaining a set of well logs designed and located in the basin, where the occurrences of several species of *Neognathodus* were later added.

Obtaining these profiles and plotting *Neognathodus* occurrences (**Fig. 3**) in them were fundamental for the establishment of biostratigraphic zoning and possible paleoecological considerations.

Systematic paleontology

Phylum **CHORDATA** Bateson, 1886

Subphylum **VERTEBRATA** Linnaeus, 1758

Class **CONODONTA** Pander, 1856

Order **OZARKODINIDA** Dzik, 1976

Family **IDIOGNATHODONTIDAE** Harris & Hollingsworth, 1933

Genus ***Neognathodus*** Dunn, 1970[*Polygnathus bassleri* Harris & Hollingsworth, 1933; OD]**Type species** *Polygnathus bassleri* Harris; Hollingsworth, 1933; OD]

Diagnosis: Seximembrate or septimbrate apparatus. Pectin-shaped scaphate element whose long free blade, greater than half the length of the element, meets the platform centrally or subcentrally. The platform is slightly reduced or absent on the outer edge. Parapets or transverse ridges flank one or both sides of the platform. The carinal extends to or near the posterior end of the element. Adcarinal ridges are deep and the basal cavity is wide, deep, and asymmetrical.

***Neognathodus symmetricus* (Lane, 1967)**2012- *Neognathodus symmetricus* Sanz-López & Blanco-Ferreira: Fig.6. 22-252015- *Neognathodus symmetricus* Fallon & Murray: 1035. Fig. 7. m2016- *Neognathodus symmetricus* K. Y. Hu et al.: 72, fig. 6.A-B2016- *Neognathodus symmetricus* Scomazzon et al.: 35, fig. 10.1-2.2021- *Neognathodus symmetricus* Huang et al.: 18, fig. 17.5

Description: The free blade has six to eight denticles and is located with the platform in a median position, continuing as a centered carina until the posterior end. The element is symmetrical, with parapets parallel to the carina, which is ornamented by fused nodules. The margins may be ornamented by nodules or ridges that extend towards a median groove parallel to the carina. The parapets have maximum anterior curvature. In lateral view the element is generally straight or slightly curved. In aboral view, the basal cavity is wide, deep and asymmetrical.

Discussion: The P1 elements of *Neognathodus symmetricus* differ from *Neognathodus bassleri* mainly by having a straight, centered and fused carina and a deeper basal cavity, while *N. bassleri* has a subcentral and nodular carina.

Elements found: 96 specimens.

Material studied: Wells AM-01, AM-02, AM-05, AM-07, AM-09, CA-01, MI-02, PB-01, PC-01, PE-02, RX-06, UA-01, and outcrop TAP CX.

Stratigraphic distribution: Early Bashkirian-Early Moscovian.

Paleogeographic distribution: North America, South America, Europe, Asia.

***Neognathodus bassleri* (Harris & Hollinsworth, 1933)**

2002- *Neognathodus bassleri* Ritter et al.: 508. Fig. 8. 3

2003- *Neognathodus bassleri* Whan Zhihao & Qi Yuping: 391. Plate 2.23

2015- *Neognathodus bassleri* Fallon & Murray: 1035. Fig. 7. n-o

2017- *Neognathodus inaequalis* Cardoso et al.: 89. Fig. 7. 13

2017- *Neognathodus symmetricus* Cardoso et al.: 89. Fig. 7. 15

2018- *Neognathodus bassleri* Zimmerman et al.: 790. fig. 5.20-21

Description: the free blade has four to six denticles and is located with the platform in a median position. The latter continues as a nodular subcentral carina until the posterior end of the platform. The parapets are higher than the carina, slightly asymmetrical and ornamented by ridges that extend to the median groove. The inner parapet is generally more parallel to the carina, while the outer parapet is slightly curved. The maximum curvature is generally in the most posterior portion of the platform. The carina ends just before the posterior end, joining one of the parapets. In aboral view, the basal cavity is asymmetric.

Discussion: *Neognathodus bassleri* differs from *N. symmetricus* for being slightly curved, for presenting a carina that ends before the posterior end, joining one of the parapets and by having parapets higher than the carina, having ridges that extend to the medial groove. The elements of *N. bassleri* are more robust than those of *N. symmetricus*.

Elements found: 160 specimens.

Material studied: Wells AM-02, AM-05, AM-07, AM-09, CA-01, FZ-01, FZ-02, FZ-28, MN-01, MI-02, NO-01, PE-02, RX-06, UA-1, UI-02, Outcrops TAP TV, TAP CX, Quarry 2.

Stratigraphic Distribution: Early Bashkirian-Late Moscovian.

Paleogeographic distribution: North America, South America, Europe, Asia.

***Neognathodus atokaensis* Grayson, 1984**

2001- *Neognathodus atokaensis* Orchard et al.: 559. Plate 1. Fig.3

2003- *Neognathodus atokaensis* Whan Zhihao & Qi Yuping: 391. Plate 2.18

2016- *Neognathodus atokaensis* Qi et al.: 181. Fig 10. C,E

2016- *Neognathodus atokaensis* K. Y. Hu et al.: 72, fig. 6.E

2017- *Neognathodus asymmetricus* Cardoso et al.: 89. Fig.7. 7,8

2017- *Neognathodus bothrops* Cardoso et al.: 89. Fig.7. 9

Description: The free blade has four to six denticles. It is found with the platform in a median position and continues as a nodular carina until the posterior end. In lateral view, the external parapet is lower and wider than the internal one. The latter extends to the posterior end and is ornamented by short transverse ridges. In oral view, the anterior portion of the external parapet is slightly semicircular and ornamented with prominent transverse ridges. In aboral view, the basal cavity is asymmetrical and deeper in the central portion below the platform.

Discussion: *Neognathodus atokaensis* differs from *N. bassleri* by having one parapet higher than the other and being more rounded in general contour.

Elements found: 53 specimens.

Material studied: Wells CA-01, FZ-01. PE-02, RX-06, Outcrops TAP TV, TAP CX, Quarry 2.

Stratigraphic Distribution: Late Bashkirian-Early Moscovian.

Paleogeographic distribution: North America, South America, Europe, Asia.

***Neognathodus bothrops* Merrill, 1972**

2010- *Neognathodus bothrops* Nascimento et al.: 249. Fig. 5.D.

2013- *Neognathodus bothrops* Qi et al.: 319. Fig 6. O,P

2013- *Neognathodus bothrops* Ishida, Suzuki & Inada: 42. Plate 2. Fig 22

2018- *Neognathodus bothrops* Zimmerman et al.: 790. Fig 5. 18,19

Description: Platform with high parapets, ornamented by nodules and transversal ridges, separated from the carina by a median depression. Fused subcentral carina that continues until the posterior end. In aboral view, the basal cavity is asymmetrical and deeper below the platform.

Discussion: According to the original description by Merrill (1972), this species is differentiated from *N. bassleri* by having a fused carina that extends to the posterior end. Grayson (1984) suggests that the nodular or fused carina is an ecological character and should not be used as a taxonomic characteristic. However, Merrill (1999) considers that *N. bothrops* is part of a complex of morphotypes where the morphological variations of the carina and parapets are sufficient to characterize these different species. In this present study, the specimens were described according to Merrill (1972).

N. bothrops differs from *N. bassleri* in that the *N. bothrops* carina extends to the posterior end, allowing the parapets to meet, while the *N. bassleri* carina joins with a parapet at the posterior end.

Elements found: 8 specimens.

Material studied: Wells FZ-01, RX-06, Outcrops TAP TV, Quarry 2.

Stratigraphic distribution: Moscovian.

Paleogeographic distribution: North America, South America, Europe, Asia.

***Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972**

2002- *Neognathodus medadultimus* Ritter et al.: 503. Fig 6. 1

2003- *Neognathodus medadultimus* Whan Zhihao & Qi Yuping: 391. Plate 2. 19

2017- *Neognathodus colombiensis* Cardoso et al.: 89. Fig.7. 10,12

2017- *Neognathodus tsnensis* Cardoso et al.: 89. Fig. 7. 22

2018- *Neognathodus medadultimus* Zimmerman et al.: 790. Fig 5. 15-17

Description: The free blade has 6 to 8 denticles meeting the platform in a median position, continuing as a nodular carina and lower than the parapets. The platform is posteriorly tapered and wider in the anterior third. The parapets can be high or low, and have margins with almost fused nodules and transversal ridges that gently extend towards the longitudinal groove. In some specimens, the left parapet is higher than the right and has a shallower depression.

It is observed that sometimes the carina joins the right parapet in the anterior third, in other specimens the carina joins the right parapet in the posterior third, and in other specimens the carina remains posteriorly fused with the left parapet in the posterior half.

In lateral view, the platform is high and wide. The basal cavity is long, asymmetric, more expanded anteriorly and deeper in the center.

Discussion: The degree of fusion between the outer row of nodules with the carina can be variable, and the interruption of the median groove through the union of one of the parapets with the carina is sufficient to define this species. In some specimens, however, the fusion of the carina with the row of nodules is complete, forming a single row of nodules. In other specimens this union is not total. The carina and one of the parapets can be joined, existing a clear separation between both rows of nodules. Merrill (1972) points out that the union of the carina with one of the parapets interrupts the median depression, and considers the loss of the median groove to be sufficient for the definition of the species (see Merrill, 1972, pl. 1, fig. 6, p. 824).

Elements found: 58 specimens.

Material studied: Wells AM-02, CA-01, FZ-01, NO-01, UA-01, Outcrops TAP TV, TAP CX, Quarry 1, Quarry 2.

Stratigraphic distribution: Moscovian.

Paleogeographic distribution: North America, South America, Asia, Europe.

***Neognathodus roundyi* Gunnell, 1931**

2002- *Neognathodus roundyi* Ritter et al.: 503. Fig 6. 2-4

2010- *Neognathodus roundyi* Nascimento et al.: 249. Fig. 5.D.

2016- *Neognathodus roundyi* Scomazzon et al.: 35. Fig 10. 8,9

2017- *Neognathodus* sp. Cardoso et al.: 89. Fig. 7. 21

2018- *Neognathodus roundyi* Zimmerman et al.: 790. Fig 5. 8-11

Description: in oral view, the blade has four to six denticles that meet the platform in a median position and continue as the fused carina until the posterior end. The platform has an internal parapet with only one nodule in the anterior portion. The external parapet has a row of nodules or transversal ridges and continues parallel to the carina to the posterior end. In lateral view, the carina is higher than the parapets. In aboral view, the basal cavity is long, asymmetrical and deep, with greater width and depth in the anterior third and is bordered by flaps.

Discussion: The diagnostic feature is the single nodule located in the anterior portion of the inner parapet. The inner row of nodules moves away from the carina in the anterior third of the platform, abruptly converging with it towards the posterior end of the element, disappearing before reaching the posterior end of the element.

Elements found: 48 specimens.

Material studied: Wells AM-02, CA-01, CP-02, PE-01, FZ-01, PC-01, UA-01, UI-02, Outcrops TAP TV, Quarry 2.

Stratigraphic distribution: Middle-late Moscovian.

Paleogeographic distribution: North America, South America, Asia, Europe.

***Neognathodus* sp.**

Description: The specimens have features of the *Neognathodus* genus such as carina, grooves, parapets with ridges, however in general they are very abraded, with a broken free blade and some fractures in their basal portion causing a

difference in level in the height of the parapets of the element that are not real. These changes in specimens make it difficult to classify at the species level.

(FIG. 3. AMAZONAS BASIN CONODONTS)

Results

From the occurrence maps of the *Neognathodus*, the distribution of this genus in the Amazonas Basin was determined on the north platform, central area and south platform, where six species were distinguished: *N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *N. medadultimus* and *N. bothrops* (**Fig. 3**). Based on the occurrence maps, the distribution of the total number of specimens of each species was evidenced, determining the zones in the Amazonas Basin (**Figs. 4-12**)

(FIG. 4 to 12)

Based on the recognition of the different *Neognathodus* taxa, four biozones are determined. Three of interval biozone: *N. symmetricus*-*N. bassleri*, *N. bassleri*-*N. symmetricus*, *N. atokaensis*-*N. bassleri* respectively related to the Monte Alegre and Itaituba formations, and the lower portion of the Nova Olinda Formation; and one are a taxon range biozone: *N. atokaensis*, recognized in the Itaituba Formation (**Fig. 13**). *Neognathodus* is not an abundant genus, but its occurrences are significant as they are key markers due to their rapid taxonomic evolution.

(FIG. 13. STRATIGRAPHIC DISTRIBUTION)

***Neognathodus symmetricus* - *Neognathodus bassleri* Zone (Ns-NbZ)**

Definition and criteria for recognition

Interval zone where the lower limit is marked by the first appearance of *Neognathodus symmetricus* and the upper limit corresponds to the first appearance of *Neognathodus bassleri*.

Reference section

Well UA-01-AM (Monte Alegre Formation, core 19, CX 1-2, depth between 2856-2860 and Itaituba Formation, core 17, CX 1-1, depth 2758-2761).

Other significant occurrences

Well AM-02-AM (Itaituba Formation, core 2, depth between 1110-1160), well 2PEST-02-AM (Itaituba Formation, core 3, CX 2-2 and core 6, CX 2-3; depths between 818- 831), well 1AM-09-AM (Monte Alegre Formation, core 15 and core 14, depth between 1112-1117).

Lithostratigraphic distribution

Top of the Monte Alegre Formation and base of the Itaituba Formation.

Chronostratigraphy

Middle Bashkirian.

Correlation with other zones

Neognathodus symmetricus Zone of Hu et al. (2020), (China); *Neognathodus symmetricus* Zone of Barrick et al. (2013), (Midcontinent, United States); *Idiognathoides sinuatus-Neognathodus symmetricus* Zone of Alekseev et al. (1996), (Russia); *Neognathodus symmetricus* Zone of Mizuno (1997), (**Japan**); *Neognathodus symmetricus-Idiognathodus primulus* Zone of ishida et al. (2013), (Japan); *Neognathodus symmetricus/ Rhachistognathus muricatus* Zone of Lemos & Scomazzon (2001), (Brazil).

***Neognathodus bassleri* – *Neognathodus symmetricus* Zone (Nb-NsZ)**

Definition and criteria for recognition

Interval zone N. bassleri/N. symmetricus whose lower limit corresponds to the first appearance of *Neognathodus bassleri*. Its upper limit corresponds to the last appearance of *Neognathodus symmetricus*.

Reference section

Well 2CAST-01-AM (Itaituba Formation, core 6-7, CX 1-1, depth between 539-541).

Other significant occurrences

Well UA-01-AM (Itaituba Formation, core 17, CX 1-1, depth 2758-2761).

Lithostratigraphic distribution

Base of the Itaituba Formation.

Chronostratigraphy

Late Bashkirian.

Correlation with other zones

Neognathodus bassleri Zone of (Lane, 1967; Lane & Straka, 1974; Barrick et al., 2013), (Midcontinent, United States).

***Neognathodus atokaensis* Zone (NaZ)**

Definition and criteria for recognition

Taxon-range zone, marked by known range of stratigraphical and geographical occurrence of *Neognathodus atokaensis*.

Reference section

Well 2CAST-01-AM (Itaituba Formation, core 6-7, CX 1-1, depth between 539-541).

Other significant occurrences

Well UA-01-AM (Itaituba Formation, core 17, CX 1-1, depth 2758-2761).

Lithostratigraphic distribution

Itaituba Formation.

Chronostratigraphy

Late Bashkirian – lower Moscovian (Middle Atokan).

Correlation with other zones

Neognathodus atokaensis Zone of Barrick et al. (2013), (Midcontinent, United States); *Streptognathodus transitivus-Neognathodus atokaensis* of Nemyrovska (2017), (Russia); *Idiognathodus incurvus* / *Neognathodus atokaensis* / *Neognathodus Medadultimus* Zone of Nascimento et al. (2010b), (Brazil).

***Neognathodus atokaensis* – *Neognathodus bassleri* Zone (Na-NbZ)**

Definition and criteria for recognition

Interval zone, where the lower limit corresponds to the disappearance of *Neognathodus atokaensis* and the upper limit corresponds to the disappearance of *Neognathodus bassleri*.

Reference section

Well 1RX-06-AM (Nova Olinda Formation core 10, CX 2-2, depth 1588-1590; Itaituba Formation, core 16, CX 2-3, depth 1689-1693).

Other significant occurrences

Well 2CAST-01-AM (Itaituba Formation, core 1, core 2, CX 1-1, Core 5, CX 1-1, Core 6 Cx 1-1, depths 327-541).

Lithostratigraphic distribution

Top of the Itaituba Formation and base of the Nova Olinda Formation.

Chronostratigraphy

Middle Moscovian.

Discussion

Biostratigraphy

Species of *Neognathodus* have been used for Bashkirian and Moscovian (Morrowan, Atokan and Desmoinesian) zoning (Barrick et al. 2013). According to Merrill et al. (1999), *Neognathodus* is a key genus, probably one of the most prominent fossils for biostratigraphy in lower-to-middle Pennsylvanian marine rocks. *Neognathodus* is a cosmopolitan genus, facies-independent and has wide morphological variability over time, making them excellent biostratigraphic markers and, therefore, used in this research.

The zoning based on conodonts genus *Neognathodus* in the Amazonas Basin is fragmented, and is done locally in some wells and outcrops. The scheme proposed by Lemos & Scorzoni (2001) with the *Rh. muricatus* – *N. symmetricus* zone for middle Bashkirian in wells, and Nascimento et al. (2010b) with *I. incurvus* – *N. atokaensis* – *N. medadulimus* zone for late Bashkirian in outcrops, they are both local schemes (**Fig. 15**).

The proposed *Neognathodus* zoning herein presents a complete coverage of the Pennsylvanian marine section of the Tapajós Group and is globally correlated with the zones of different paleogeographic regions worldwide. It is a regional zoning based on the genus *Neognathodus*: *N. symmetricus*-*N. bassleri* zone (Ns-NbZ), *N. bassleri*-*N. symmetricus* zone (Nb-NsZ), *N. atokaensis* zone (NaZ), *N. atokaensis*-*N. bassleri* zone (Na-NbZ). Therefore, it covers the zones previously proposed by Lemos & Scorzoni (2001) and Nascimento et al. (2010b) in the Amazonas Basin.

The *N. symmetricus*-*N. bassleri* Zone (Ns-NbZ) can be correlated with the *Neognathodus symmetricus* Zone that was initially proposed by Lane (1967) as the *Gnathodus bassleri symmetricus* Zone in Arkansas. It can also be recognized in other regions of North America as in the western U.S., (Dunn 1970), the American Midcontinent, and the Appalachian Basin (Barrick et al., 2013). Additionally, this zone is correlated with the *Neognathodus symmetricus* Zone of Hu et al. (2019), (China); *Idiognathoides sinuatus*-*Neognathodus symmetricus* Zone of Alekseev et al. (1996), (Russia); *N. askynesis* Zone in the Southern Ural Mountains (Nemyrovska, 2017); *Neognathodus symmetricus* Zone of Mizuno

(1997), (Japan); *Neognathodus symmetricus*-*Idiognathodus primulus* Zone of Ishida et al. (2013), (Japan) and in Brazil as the *N. symmetricus*/*R. muricatus* Zone by Lemos & Scomazzon (2001), in the Amazonas Basin. Worldwide, the *N. symmetricus* Zone is designated as an interval zone, where its main feature is the appearance of zonal species. *N. symmetricus* occurs in middle Bashkirian in the United States (Lane, 1967; Lane & Straka, 1974; Eccher et al., 1983), Western Europe (Sanz-López & Blanco-Ferrera, 2012; Fallon & Murray, 2015), in Japan (Mizuno, 1997; Ishida et al., 2013); has an age from middle Bashkirian to late Bashkirian in China (Zhihao & Qi, 2003; Qi et al., 2014; Qi et al., 2016; Hu et al., 2017; Huang et al., 2021; Hu et al., 2019; Hu et al., 2019) and in Russia the occurrence of *N. symmetricus* is in the late Bashkirian (Aleekseev et al., 1996; Sungatullina, 2014). Therefore, based on the appearance of *N. bassleri*, a middle Bashkirian age is assigned to the Ns-NbZ (**Figs. 14-18**).

The *N. bassleri*-*N. symmetricus* Zone (Nb-NsZ) can be correlated with the *N. bassleri* Zone defined by the first occurrence of *N. bassleri* originally defined by Lane (1967). This biozone can be recognized in other regions of North America by Lane & Straka (1974); Barrick et al. (2013). *Neognathodus bassleri* occurs in middle Bashkirian in China (Zhihao & Qi, 2003), in Western Europe (Fallon & Murray, 2015), in the United States from middle Bashkirian to middle Moscovian (Lane, 1967; Lane & Straka, 1974; Eccher et al., 1983; Ritter et al., 2002; Barrick et al., 2013; Zimmerman et al., 2018), the occurrence of *N. bassleri* in Japan is in the late Bashkirian (Ishida et al., 2013), in Russia it has a distribution from early Moscovian to middle Moscovian (Sundatullina & Davydov, 2015) and in Turkey in middle Moscovian (Çapkinoglu, 2013). Therefore, based on the appearance of *N. bassleri*, a late Bashkirian age is assigned to the Nb-NsZ (**Figs. 14-18**).

The *N. atokaensis* zone (NaZ) can be correlated with the *N. atokaensis* Zone defined by the amplitude of the *N. atokaensis* taxon initially defined by Grayson (1984). The ZNa Zone can also be recognized as the *Neognathodus atokaensis* Zone of Barrick et al. (2013), (Midcontinent, United States); correlated with the *Streptognathodus transitivus*-*Neognathodus atokaensis* Zone of Nemyrovskaya (2017), (Russia); *Idiognathodus incurvus* / *Neognathodus atokaensis* / *Neognathodus medadultimus* Zone of Nascimento et al. (2010b), in the Amazonas Basin (Brazil). *Neognathodus atokaensis* has a distribution from late

Bashkirian to Lower Moscovian in Western Europe (Orchard et al., 2001), Russia (Alekseev et al., 1996; Sungatullina, 2014) and the United States (Grayson, 1984; Lambert, 1992; Barrick et al., 2013) and occurs from middle Bashkirian to late Moscovian in China (Zhihao & Qi, 2003; Qi et al., 2016; Hu et al., 2017; Hu et al., 2019). Based on the occurrence of *N. atokaensis*, a late Bashkirian-early Moscovian (Atokan) age is assigned to the NaZ (**Figs. 14-16,19**).

The *N. atokaensis*-*N. bassleri* Zone (Na-NbZ) is proposed herein as an interval zone, where the lower limit corresponds to the disappearance of *Neognathodus atokaensis* and the upper limit corresponds to the disappearance of *Neognathodus bassleri*. Based on the distribution of *N. atokaensis* (late Bashkirian-early Moscovian) and *N. bassleri* with a record up to middle Moscovian (**Fig. 14**), a middle Moscovian age is assigned to the Na-NbZ.

In the Amazonas Basin, *N. symmetricus* is the most basal species, having a lithostratigraphic distribution from the top of the Monte Alegre Formation to the base of the Itaituba Formation, occurring along with the contact between the two formations. *N. bassleri* occurs equally from the top of the Monte Alegre Formation, along the Itaituba Formation to the base of the Nova Olinda Formation. *N. medadultimus* begins its distribution from the base of the Itaituba Formation to the base of the Nova Olinda Formation. *N. roundyi* occurs along the Itaituba Formation. *N. atokaensis* is restricted to the Itaituba Formation. It is observed that *N. bothrops* is a species that has a distribution at the top of the Itaituba Formation and the base of the Nova Olinda Formation.

The most basal forms within the Monte Alegre Formation stand out, *N. symmetricus* and *N. bassleri* representing the middle-late Bashkirian based on world distributions (**Fig. 17,18**). It is observed that in the boundary between the two Monte Alegre and Itaituba Formations, more superior species such as *N. medadultimus*, *N. roundyi*, *N. bothrops* appear (**Fig. 20-22**), attributed as Moscovian forms (Desmoinesian) (Zimmerman et al., 2018). It is possible to track the occurrences of these more superior forms in beds where basal forms such as *N. symmetricus* are present along the basin both in the north and south platforms and in the central area. In comparison with the stratigraphic distribution of *Neognathodus* in different paleogeographic regions, it can be observed that although *N. roundyi* is considered a Moscovian (Desmoinesian) form, it can occur

together with forms such as *N. atokaensis*, representative of the late Bashkirian-early Moscovian (Atokan) (**Fig. 19**). However, the appearance of these superior species juxtaposed with more basal forms allows recognizing a gap in these strata.

Consequently, it can be suggested, based on the *Neognathodus* paleontological record, the existence of a regional gap in the boundary of the Monte Alegre and Itaituba Formations that juxtaposes basal species such as *N. symmetricus* typical of middle Bashkirian and superior species such as *N. roundyi* representative of the middle-late Moscovian (Desmoinesian).

(FIGS. 14-22)

Paleoenvironmental analysis

Works developed in the Amazonas Basin based on stratigraphic and petrographic analyzes such as Moutinho (2003, 2006, 2016a, b), Matsuda (2003), Matsuda et al. (2005, 2010), suggest that the sedimentary sequence corresponds to a shallow marine environment in the regions and a deeper marine succession in the central area of the basin. Based on facies data, Silva et al. (2022) determined paleoenvironments of a coastal aeolian system, a mixed tidal flat and an open epicontinental platform, reflecting differences in water body energy, physical structures, diagenetic and biogenetic characteristics, substrate consistencies, among others.

The modeling of well logs and outcrops allows to demonstrate along the sections a composition predominantly of carbonate and evaporitic facies. Thus, the sedimentary sequence corresponds to a shallow marine environment of warm waters, with a high rate of evaporation, which allowed the deposition of beds of evaporites. The occurrences of *Neognathodus* are predominantly in carbonate and shale facies. Specimens are found in evaporitic facies to lesser extent.

Neognathodus is recognized as a genus of neritic environments. According to Driese et al. (1984), *Neognathodus* is typical of normal lower intertidal/infratidal marine environments. Merrill & von Bitter (1984) postulate that its occurrence

could be even broader, occupying different environments within the tidal flat. According to Sweet (1988), *Neognathodus* was present in neritic environments of warm and oxygenated waters, having a distribution from foreshore, in a more proximal environmental context, to offshore, more distal environments. Driese et al. (1984) define *Adetognathus* in high energy proximal restricted deposits, while *Idiognathodus* is defined in low energy normal marine environment facies. Therefore, *Neognathodus* occurring with *Adetognathus* suggests high energy proximal environments and the association *Neognathodus* and *Idiognathodus* will define a more distal environment of low energy, normal salinity and muddy substrate (**Fig. 23**).

(FIG. 23. CROSS-SECTION OF THE PENNSYLVANIAN SEA)

From the analysis of the distribution and occurrence maps (**Figs. 5-10**) of the species of *Neognathodus* studied (*N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. atokaensis*, *N. medadultimus*, *N. roundyi*, *N. bothrops*) in the Amazonas Basin, *Neognathodus symmetricus* is observed as the most basal species, which occurs mainly in the North Platform, suggesting that the first ingressions of *Neognathodus* occurred in NW-SE direction. Later forms such as *N. bassleri* are present throughout the basin, more adapted forms as marine ingression continued. Finally, the more superior species such as *N. atokaensis*, *N. medadultimus* and *N. roundyi* were restricted to different zones within the basin, as marine regressions occurred and became an environment with more stressful conditions for conodonts. Based on previous sedimentological, stratigraphic and paleontological studies, as well as the analysis of wells and outcrops in the present study, the *Neognathodus* in the Amazonas Basin is corroborated as a genus of neritic, warm and oxygenated water environments both in high energy proximal contexts and in more distal environments of lower energy, waters a little deeper and periodically affected by storms, characteristic of a carbonate ramp, developed in the Amazonas Basin during the Pennsylvanian period according to Cunha et al. (2007).

Conclusions

In the Amazonas Basin, *Neognathodus* is not an abundant genus, but its occurrences are significant as they are key markers due to their rapid taxonomic evolution. *Neognathodus* can represent the Pennsylvanian marine sequence, observing the occurrence of six species along the Tapajós Group: *N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *N. bothrops*.

Based on the recognition of different *Neognathodus* taxa, four biozones were determined: three of interval *N. symmetricus*/*N. bassleri*, *N. bassleri*/*N. symmetricus*, *N. atokaensis*/*N. bassleri* respectively related to the Monte Alegre, Itaituba formations and the lower portion of the Nova Olinda Formation and one taxon range *N. atokaensis* in the Itaituba Formation, representing the marine sequence from the middle Bashkirian to the middle Moscovian. In the boundary zone between the Monte Alegre and Itaituba Formations, the juxtaposition of superior species such as *N. roundyi*, attributed to the Moscovian, with slightly more basal species, such as *N. symmetricus*, attributed to the middle Bashkirian, is observed both on the platforms and in the central area. This allows for the recognition of a possible biostratigraphic gap. It is recommended to analyze in detail the stratigraphic distribution of conodonts along these strata for a better understanding of this occurrence.

From the analysis of the *Neognathodus* occurrence maps of the Amazonas Basin, *N. symmetricus* is observed as the most basal species, and occurs mainly in the North Platform, suggesting that the first ingressions of *Neognathodus* came from in NW direction. Later forms such as *N. bassleri* are present throughout the basin, more adapted forms as marine ingressions continued. Finally, the more superior species such as *N. atokaensis*, *N. medadultimus* and *N. roundyi* were restricted to different zones within the basin, as marine regressions occurred and became an environment with more stressful conditions for conodonts.

In paleoenvironmental terms, *Neognathodus* is corroborated as a genus of neritic environments, with warm and oxygenated waters, both in proximal contexts of high energy and in more distal environments of lower energy, slightly deeper waters and periodically affected by storms.

Acknowledgments

Thanks to PETROBRAS Oil Company for providing the profiles and geological information used in the study. Thanks should also go to the BIOCRONORTE project group for their economic assistance during the study. I gratefully acknowledge the assistance of the Laboratório de Conodontes e Foraminíferos (LACONF) for the access to previously published collections and data.

Funding

This work was supported by BIOCRONORTE Project, UFRGS-PETROBRAS [IAP 000803]

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

Alekseev, A. S., Kononova, L. I., & Nikishin, A. M. 1996. The Devonian and Carboniferous of the Moscow Syncline (Russian Platform): stratigraphy and sea-level changes. *Tectonophysics*, 268(1-4), 149-168.

Araujo, J. S., & Campos, A. R. 1969. Conodonts from the Itaituba Formation (Pennsylvanian) at well Pest-2-Am, Amazon Basin. *Ciencia Cultura*, 21(2), 221-222.

Barrick, J. E., Lambert, L. L., Heckel, P. H., Rosscoe, S. J., & Boardman, D. R. 2013. Midcontinent Pennsylvanian conodont zonation. *Stratigraphy*, 10(1-2), 55-72.

Çapknoglu S. 2003. First Records of Conodonts from "the Permo-Carboniferous of Demirozu" (Bayburt). Eastern Pontides, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci)* Vol. 12. Pp 199-207.

Caputo, M. V., & Soares, E. A. A. 2016. Eustatic and tectonic change effects in the reversion of the transcontinental Amazon River drainage system. *Brazilian Journal of Geology*, 46, 301-328.

Cardoso, C. N., Sanz-López, J., Blanco-Ferrera, S., Lemos, V. B., & Scomazzon, A. K. 2015. Conodont color alteration index and upper Paleozoic thermal history of the Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 64, 139-151.

Cardoso, C. N., Sanz-López, J., & Blanco-Ferrera, S. 2017. Pennsylvanian conodonts from the Tapajós Group (Amazonas Basin, Brazil). *Geobios*, 50(2), 75-95.

Costa, A. 2002. Tectônica Cenozóica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca. Belém. CG/UFGPA. Dissertação de Mestrado. 238p.

Cunha, P. Melo, J. & Silva, O. 2007. Bacia do Amazonas, Boletim de Geociências. Manaus. PETROBRÁS. 15. n2. 227 – 254p.

Cunha, P. R. C.; Gonzaga, F. G.; Coutinho, L. F. C.; Feijó, F. J. 1994. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 8, p. 47-55.

Driese, S. G.; CARR, T. R; CLARK, D. L. 1984. Quantitative analysis of Pennsylvanian shallow-water conodont biofacies. In: CLARK, D. L. (Ed.). *Conodont Biofacies and Provincialism*. USA: GSA. Special paper 196, p. 233-250.

Eccher, M. A., Murdaugh, D. J., & Hawkins, W. D. 1983. Early Pennsylvanian conodont ammonoid biostratigraphy and the Witts Springs problem, north-central Arkansas. *Journal of the Arkansas Academy of Science*, 37(1), 22-24.

Ekmekçi, E., & Kozur, H. W. 1999. Conodonts of Middle Moscovian Age from the Kongul Formation (Bolkardag Unit), Northwest of Hadim, Central Taurus, Turkey. *Geologia Croatica*, 52(1), 1-8.

Fallon, P., & Murray, J. 2015. Conodont biostratigraphy of the midCarboniferous boundary in Western Ireland. *Geological Magazine*, 152(6), 1025-1042.

Fúlfaro, V. J. 1965. Conodontes do Calcário Itaituba do Carbonífero do Rio Tapajós, Estado do Pará. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v. 14, n. 1/2, p. 29-40.

Grayson, R. C. Jr. 1984. Morrowan and Atokan (Pennsylvanian) Conodonts from the Northeastern Margin of the Arbuckle Mountains Southern Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey Bulletin*, v. 136, p. 41-63.

Goreva, N. V., & Alekseev, A. S. 2010. Upper Carboniferous conodont zones of Russia and their global correlation. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 18(6), 593-606.

Gunnell, F. H. 1931. Conodonts from the Fort Scott Limestone of Missouri. *Journal of Paleontology*, v. 5, n. 3, p. 244-252.

Harris, R. W.; Hollingsworth, R. V. 1933. New Pennsylvanian Conodonts from Oklahoma. *American Journal of Science*, v. 5, n. 25, p. 193-204.

Henderson, C.M. 2020. Conodonts. Chapter 3.D. Geologic Time Scale In: Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D., & Ogg, G. M. (Eds.). (2020). *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier.

Hu, K. Y., Qi, Y. P., Wang, Q. L., Nemyrovska, T. I., & Chen, J. T. 2017. Early Pennsylvanian conodonts from the Luokun section of Luodian, Guizhou, South China. *Palaeoworld*, 26(1), 64-82.

Hu, K., Qi, Y., Qie, W., & Wang, Q. 2019. Carboniferous conodont zonation of China. *Newsletters on Stratigraphy*, 53(2), 141-190.

Hu, K., Qi, Y., & Nemyrovska, T. I. 2019. Mid-Carboniferous conodonts and their evolution: new evidence from Guizhou, South China. *Journal of Systematic Palaeontology*, 17(6), 451-489.

Hu K., Qi Y., Chen J., Hogancamp N. & Lambert L. 2018. Conodont biofacies at the Bashkirian-Moscovian (Pennsylvanian) transition and the Bashkirian-Moscovian Boundary in carbonate slope Naqing section, South China. *19th*

International Congress on the Carboniferous and Permian, Cologne, July 29 – August 2, 2019.

Huang, X., Zhang, X., Wang, Y., Wang, X., Luan, T., Lin, W., ... & Hu, K. 2021. Integrated biostratigraphy and age assignment for Carboniferous successions in the Qoltag tectonic belt in eastern Tianshan, NW China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 207, 104630.

Ishida, K., Suzuki, S., & Inada, N. 2013. Visean–Moscovian conodont biostratigraphy of the Ko-yama Limestone Group, Akiyoshi Belt, SW Japan. *Natural Science Research, University of Tokushima*, 27, 29-52.

Kabanov, P., & Alekseev, A. S. 2011. Progress in cyclothem/sequence stratigraphy of type Lower Moscovian succession of Moscow Basin, Russia. *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, 29, 42-50.

Koester, E., Scomazzon, A. K., Kawashita, K., Macambira, M. J. B., Moutinho, L. P., Nascimento, S., Lemos, V.B., Nogueira, A.C.R., Silva, P.S. & Mantilla, A. F. R. 2021. Sr–Nd isotopic constraints on carbonates, conodonts, and brachiopods of Early-Middle Pennsylvanian Itaituba and Nova Olinda formations, Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 112, 103532.

Lambert, L. L. 1992. Atokan and basal Desmoinesian conodonts from central Iowa, reference area for the Desmoinesian Stage. *Oklahoma Geological Survey Circular*, 94, 111-123.

Lane, G. 1967. Uppermost Mississippian and Lower Pennsylvanian Conodonts from the Type Morrowan Region, Arkansas. *Journal of Paleontology*, v. 41, n. 4, p. 920- 942. 136.

Lane, H. R., & Straka, J. J. 1974. Late Mississippian and Early Pennsylvanian conodonts, Arkansas and Oklahoma (Vol. 152). Geological Society of America.

Lemos, V. B. 1990a. Assembléias de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas. 1990. 259f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Lemos, V. B. 1990b. Upper Carboniferous Conodonts from the Amazon and Solimões Basins, Brazil. In: LATIN AMERICAN CONODONT SYMPOSIUM, 1. 1990. Córdoba, AR, Resúmenes... Córdoba: ANC, p. 105-106. (Project 271).

Lemos, V. B. 1992. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões Taxonomia-Parte I. *Pesquisas em Geociências*, 19(1), 75-93.

Lemos, V. B. 1992. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões Taxonomia-Part II. *Pesquisas em Geociências*, 19(2), 120-131.

Lemos, V. B.; Medeiros, R. A. 1989. Transgressões e Regressões Cíclicas e Ocorrência de Conodontes no Morrowano e Atokano na Bacia do Amazonas. In: Simpósio de Marcos Estratigráficos, 2., Curitiba, PR, 1989. Anais...Curitiba: SBP., v. 2, p. 961-969.

Lemos, V. B.; Scmazzon, A. K. 2001. The Biochronostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil based on Conodonts. In: WORKSHOP CORRELAÇÃO DE SEQÜÊNCIAS PALEOZÓICAS SUL-AMERICANAS, 2001. (Ciência Técnica Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo, n. 20).

Matsuda, N. Dino, R. Wanderley Filho, J. 2004. Revisão litoestratigráfica do Grupo Tapajós, Carbonífero Médio – Permiano da Bacia do Amazonas. Manaus. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 12, n. 2, p. 435 -441.

Matsuda, N.S., 2003. Carbonate Sedimentation Cycle and Origin of Dolomite in the Lower Pennsylvanian Intracratonic Amazon Basin, Northern Brazil. University of Tokyo, Tokyo, p. 231. PhD Thesis, Department of Earth & Planetary Sciences.

Matsuda, N.S., Dino, R., Wanderley-Filho, J.R., 2005. Revisão litoestratigráfica do Grupo Tapajós, Carbonífero médio e Permiano da Bacia do Amazonas. Bol. Geocienc. Petrobras 12 (2), 435-441.

Matsuda, N. S.; Winter, W. R.; Wanderley Filho, J. R.; Cacula, A. S. M. O 2010. Paleozóico da borda sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós – Estado do Pará. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 18, p. 123-152.

Méndez, C. A. 2006. Upper Moscovian-middle Kasimovian conodonts (Pennsylvanian, Carboniferous) from the Las Llacerias Section (Cantabrian Zone, north Spain). *Geobios*, 39(2), 245-254.

Merrill, G. K. 1972. Taxonomy, phylogeny and biostratigraphy of *Neognathodus* in Appalachian Pennsylvanian rocks. *Journal of Paleontology*, v. 46, p. 817-829.

Merrill, G. K. 1999. *Neognathodus* and the species concept in conodont paleontology. *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, v. 37, p. 465-473.

Merrill, G. K., & von Bitter, P. H. 1984. Facies and frequencies among Pennsylvanian conodonts: apparatuses and abundances. *Geological Society of America, Special Paper*, 196, 251-261.

Mizuno, Y. 1997. Conodont faunas across the mid-Carboniferous boundary in the Hina Limestone, southwest Japan. *Paleontological Research*, 1(4), 237-259.

Moutinho, L.P., 2006. Assinaturas tafonômicas dos invertebrados da Formação Itaituba - Aplicação como ferramenta de análise estratigráfica e paleoecológica na seção Pensilvaniana aflorante na porção sul da Bacia do Amazonas. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 325.

Moutinho, L. P., Scomazzon, A. K., Nascimento, S., & Lemos, V. B. 2016. Taphofacies of Lower-Middle Pennsylvanian marine invertebrates from the Monte Alegre and Itaituba formations, part of the outcropped marine sequence of the Tapajós Group (Southern Amazonas Basin, Brazil)—regional palaeoecological models. *Journal of South American Earth Sciences*, 70, 83-114.

Moutinho, L.P., Scomazzon, A.K., Nascimento, S., Lemos, V.B., 2003. Invertebrate taphonomy and paleoenvironmental characterization of carbonates from the Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin, Brazil. In: 18º Congresso Brasileiro de Paleontologia, Brasília, DF, 2003, p. 204. Resumos...Brasília.

Nascimento, S.; Scomazzon, A. K.; Moutinho, L. P.; Lemos, V. B; Matsuda, N. S. 2005. Conodont biostratigraphy of two calcareous quarries - Lower Itaituba

Formation, Atokan Age, Amazonas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 8, p. 193-202.

Nascimento, S.; Smaniotto, L. P.; Souza, P. A.; Lemos, V. B.; Scomazzon, A. K. 2009. Biochronostratigraphy (conodonts and palynology) from selected strata of the Itaituba Formation, Pará State, Brazil. *Pesquisas em Geociências*, v. 36, p. 37-47.

Nascimento, S., Scomazzon, A. K., Lemos, V. B., Moutinho, L. P., & Matsuda, N. S. 2010. Bioestratigrafia e paleoecologia com base em conodontes em uma seção de carbonatos marinhos do Pensilvaniano inferior, Formação Itaituba, borda sul da Bacia do Amazonas, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 37(3), 243-256.

Neis, P. A. 1996. Resultados Biocronoestratigráficos das Associações de Conodontes da Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas. 1996. 138f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Nemyrovska, T. I. 2017. Late Mississippian–middle Pennsylvanian conodont zonation of Ukraine. *Stratigraphy*, 14(1-4), 299-318.

Orchard, M. J., Cordey, F., Rui, L., Bamber, E. W., Mamet, B., Struik, L. C., ... & Taylor, H. J. 2001. Biostratigraphic and biogeographic constraints on the Carboniferous to Jurassic Cache Creek Terrane in central British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 38(4), 551-578.

Qi, Y. P., Lambert, L. L., Nemyrovska, T. I., Wang, X. D., Hu, K. Y., & Wang, Q. L. 2016. Late Bashkirian and early Moscovian conodonts from the Naqing section, Luodian, Guizhou, south China. *Palaeoworld*, 25(2), 170-187.

Qi, Y., Hu, K., Wang, Q., & Lin, W. 2014. Carboniferous conodont biostratigraphy of the Dianzishang section, Zhenning, Guizhou, South China. *Geological Magazine*, 151(2), 311-327.

Ritter, S. M., Barrick, J. E., & Skinner, M. R. 2002. Conodont sequence biostratigraphy of the Hermosa Group (Pennsylvanian) at Honaker Trail, Paradox Basin, Utah. *Journal of Paleontology*, 76(3), 495-517.

Rocha-Campos, A. C.; Archangelsky, S. 1986. South America. In: WAGNER, R. H.; PRINS, W.; GRANATOS, J. F. (Ed.). The Carboniferous of the World II, Australia, Indian Subcontinent, South Africa, South America & North Africa. IUGS Publication, Instituto Geológico y Marino de España, Madrid, v. 20, p. 175-272.

Rocha-Campos, A.c.; Pedrão, E.; Lemos, V.B. 1988. Índices de Alteração de Cor (IAC) de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas. In: Congresso Argentino de Paleontologia y Bioestratigrafia, 4., Mendoza, ARm 1986. Resúmenes...Mendoza: p.235-236.

Sanz-López, J., & Blanco-Ferrera, S. 2012. Lower Bashkirian conodonts from the Iraty Formation in the Alduides-Quinto Real Massif (Pyrenees, Spain). *Geobios*, 45(4), 397-411.

Scomazzon, A. K. 1999. Refinamento bioestratigráfico com base em conodontes, no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas – Região do Tapajós. 1999. 142f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pósgraduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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. 2004. 294f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Scomazzon, A. K., Moutinho, L. P., Nascimento, S., Lemos, V. B., & Matsuda, N. S. 2016. Conodont biostratigraphy and paleoecology of the marine sequence of the Tapajós Group, Early-Middle Pennsylvanian of Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 65, 25-42.

Silva, P.A.S., Nogueira, A.C.R., Soares, J.L., Bandeira, J., Scomazzon, A.K., Nascimento, S., Moutinho, L.P. & Dias, S.K. 2022. Pennsylvanian mixed siliciclastic-carbonate deposits of the Amazonas basin, North of Brazil: The record of an epicontinental sea in Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 114, 103691.

Sungatullina, G. 2014. Determination of the Bashkirian–Moscovian boundary in the Volga region via conodont species *Declinognathodus donetzianus* Nemirovskaya. *Geological Magazine*, 151(2), 299-310.

Sungatullina, G. M., & Davydov, V. I. 2015. New data on conodonts from the Kasimovian Stage of the Usolka section, southern Ural Mountains. *Paleontological Journal*, 49(10), 1142-1149.

Sweet, W. C. 1988. The Conodonta, Morphology, Taxonomy, Palaeoecology and Evolutionary History of a Long-Extinct Animal Phylum. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, n. 10, 212p.

Tengan, C.; Shimabukuru, S.; Rocha-Campos, A. C. 1976. Conodontes Carboníferos do poço FB-ST-1-AM Bacia do Amazonas, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. Ouro Preto, MG, 1976. Anais...Ouro Preto: SBG. p. 365.

Wang, Q., Wang, Y., Qi, Y., Wang, X., Choh, S. J., Lee, D. C., & Lee, D. J. 2018. Revised conodont and fusuline biostratigraphy of the Bamchi Formation (Pyongan Supergroup) at the Bamchi section, Yeongwol and the Carboniferous–Permian boundary in South Korea. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, 42(2), 244-257.

Zhihao, W., & Yuping, Q. 2003. Upper Carboniferous (Pennsylvanian) conodonts from South Guizhou of China. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 109(3).

Zimmerman, A. N., Brown, L. M., & Rexroad, C. B. 2018. A *Neognathodus* based biozonation of the Desmoinesian Series (Pennsylvanian) in the Illinois Basin, USA. *Journal of Paleontology*, 93(4), 785-797.

FIGURE CAPTIONS

Figure 1. A. Map of the Amazonas Basin, showing the location of wells studied herein (the red square corresponds to the area of the outcrops in the Itaituba region). B. South platform outcrop location map (the black dots represent the ITACIMPASA mine, CALMINAS mine and the outcrops along the Tapajós River). Modified from Matsuda et al. (2007).

Figure 2. Stratigraphic chart with sedimentary infill of the Amazonas Basin Paleozoic Megasequence. AUT=Autas Mirim Formation, NHA= Nhamunda Formation, PIT= Pitinga Formation, MAN= Manacapuru Formation, JAT= Jatapu Formation, MAE= Maecuru Formation, ERE= Ererê Formation, BAR= Barreirinha Formation, CUR= Curiri Formation, ORI= Oriximiná Formation, FAR= Faro Formation, MAL= Monte Alegre Formation, ITA= Itaituba Formation, NOL= Nova Olinda Formation, AND= Andirá Formation. Modified from Cunha et al. (2007).

Figure 3. Amazonas Basin Conodonts. **1)** *Neognathodus symmetricus* (Lane, 1967), well 2PCST-001-AM, MP-M-668, (Scomazzon et al., 2016). **2)** *Neognathodus symmetricus* (Lane, 1967), well 1-AM-01-AM, MP-M-669, (Scomazzon et al., 2016). **3)** *Neognathodus bassleri* (Harris & Hollinsworth, 1933), P2C1, MP-M-736, (Nascimento et al., 2010b). **4)** *Neognathodus bassleri* (Harris & Hollinsworth, 1933), well 9-FZ-2-AM, MP-M-1088, (Cardoso et al., 2017). **5)** *Neognathodus bassleri* (Harris & Hollinsworth, 1933), well 1-AM-7-AM, MP-M-1160, (Cardoso et al., 2017). **6)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, well 1-FZ-01-AM, MP-M-670, (Scomazzon et al., 2016). **7)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, well 1-FZ-01, MP-M-671, (Scomazzon et al., 2016). **8)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, TAP CX3.2, MP-M-744, (Nascimento et al., 2010b). **9)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, well 1-RX-6-AM, MP-M-1146, (Cardoso et al., 2017). **10)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, well 1-RX-6-AM, MP-M-1147, (Cardoso et al., 2017). **11)** *Neognathodus atokaensis* Grayson 1984, sample 25, well 1-FZ-1-AM, MP-M-998, (Cardoso et al., 2017). **12)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972, TAPCX3.5, MP-M-734, (Nascimento et al., 2010b). **13)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972, Well 1-FZ-01, MP-M-672, (Scomazzon et al., 2016) **14)** *Neognathodus medadultimus*

(Merrill, 1972), Well 1-FZ-01-AM, MP-M-673, (Scomazzon et al., 2016). **15)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972, Well 1-FZ-01-AM, MP-M-674, (Scomazzon et al., 2016). **16)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972, P2C2, MP-M-735, (Nascimento et al., 2010b). **17)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972, Well 1-FZ-1-AM, MP-M-1000, (Cardoso et al., 2017). **18)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972, Well 1-FZ-1-AM, MP-M-996, (Cardoso et al., 2017). **19)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972, Well 1-FZ-1-AM, MP-M-997, (Cardoso et al., 2017). **20)** *Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972, Well 1-UA-1-AM, MP-M-1054, (Cardoso et al., 2017). **21)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931), P230C2, MP-M-676, (Nascimento et al., 2005). **22)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931), P230C2, MP-M-700, (Nascimento et al., 2005). **23)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931), TAPTV8, MP-M-737, (Nascimento et al., 2010b). **24)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931), Well 1-FZ-01-AM, MP-M675, (Scomazzon et al., 2016). **25)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931), Quarry II, MP-M-676, (Scomazzon et al., 2016), **26)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931), TAPTV8, MP-M-737, (Nascimento et al., 2010b). **27)** *Neognathodus roundyi* (Gunnell, 1931), Well 2PC-1-AM, MP-M-1030, (Cardoso et al., 2017). **28)** *Neognathodus* sp. Well 1-AM-7-AM, MP-M-1160, (Cardoso et al., 2017). **29)** *Neognathodus* sp. Well 1-AM-7-AM, MP-M-1163, (Cardoso et al., 2017). **30)** *Neognathodus* sp. Well 2CA-1-AM, MP-M-919, (Cardoso et al., 2017). **31)** *Neognathodus* sp. Well 1-AM-7-AM, MP-M-1164, (Cardoso et al., 2017). **32)** *Neognathodus* sp. Well 1-AM-9-AM, MP-M-900, (Cardoso et al., 2017). **33)** *Neognathodus* sp. Well 1-RX-6-AM, MP-M-1146, (Cardoso et al., 2017).

Figure 4. Location of wells in the Amazonas Basin.

Figure 5. Distribution of *Neognathodus symmetricus* represented by yellow circles. A) Occurrence map of *N. symmetricus* in the Itaituba Formation. The red line represents the cross-section of image B. B) Vertical distribution of *N. symmetricus* along the wells in the Tapajós Group, represented by the area in purple (The depths are not true-scale).

Figure 6. Distribution of *Neognathodus bassleri* represented by rose circles. A) Occurrence map of *N. bassleri* in the Itaituba Formation. The red line represents the cross-section of image B. B) Vertical distribution of *N. bassleri* along the wells in the Tapajós Group, represented by the area in green (The depths are not true-scale).

Figure 7. Distribution of *Neognathodus medadultimus* represented by blue circles. A) Occurrence map of *N. medadultimus* in the Itaituba Formation. The red line represents the cross-section of image B. B) Vertical distribution of *N. medadultimus* along the wells in the Tapajós Group, represented by the area in lilac (The depths are not true-scale).

Figure 8. Distribution of *Neognathodus roundyi* represented by purple circles. A) Occurrence map of *N. roundyi* in the Itaituba Formation. The red line represents the cross-section of image B. B) Vertical distribution of *N. roundyi* along the wells in the Tapajós Group, represented by the area in orange (The depths are not true-scale).

Figure 9. Distribution of *Neognathodus atokaensis* represented by purple circles. A) Occurrence map of *N. atokaensis* in the Itaituba Formation. The red line represents the cross-section of image B. B) Vertical distribution of *N. atokaensis* along the wells in the Tapajós Group, represented by the area in yellow (The depths are not true-scale).

Figure 10. Distribution of *Neognathodus bothrops* represented by blue circles. A) Occurrence map of *N. bothrops* in the Itaituba Formation. The red line represents the cross-section of image B. B) Vertical distribution of *N. bothrops* along the wells in the Tapajós Group, represented by the area in rose (The depths are not true-scale).

Figure 11. Correlation of the sections carried out from the 18 analyzed wells, located along the basin in the platforms and in the central area. The numbers on the left of each well correspond to the depths of the section studied. The portion presented in the wells refers to the section sampled for conodonts, corresponding to the top of the Monte Alegre Formation, Itaituba Formation and the base of the Nova Olinda Formation. Numbers represents the quantity of specimens of *Neognathodus*.

Figure 12. Stratigraphic distribution of the *Neognathodus* genus in the studied wells, -comprising the marine section of the Tapajós Group- top of the Monte Alegre Formation, Itaituba Formation and base of the Nova Olinda Formation.

Figure 13. Stratigraphic distribution of the analyzed taxa and the biozones established based on these taxa. *N. symmetricus*-*N. bassleri* zone, *N. bassleri*-*N. symmetricus* zone. *N. atokaensis* zone and *N. atokaensis*-*N. bassleri* zone.

Figure 14. Worldwide distribution of *Neognathodus* taxa (*N.*) analyzed in the present study. The lines correspond to the total distribution of the species and the dots correspond to a single occurrences. The most current studies from the different regions analyzed were used as a basis.

Figure 15. Bashkirian and Moscovian worldwide biozoning obtained from conodonts. *D.*=*Diplognathodus*, *I.*= *Idiognathodus*, *Id.*=*Idiognathoides*, *N.*=*Neognathodus*, *S.*=*Streptognathodus*, *Sw.*=*Swadelina*. Modified from Hu et al. (2020).

Figure 16. Paleogeographic map of the Middle Pennsylvanian. Area in yellow corresponds to the Amazonas Basin. Red stars correspond to occurrences of *Neognathodus* in different world paleogeographic regions. Modified from Scotese (2014).

Figure 17. Paleogeographic map of the Middle Pennsylvanian. Area in yellow corresponds to the Amazonas Basin. Polygons correspond to occurrences of *Neognathodus symmetricus* in different world paleogeographic regions. Modified from Scotese (2014).

Figure 18. Paleogeographic map of the Middle Pennsylvanian. Area in yellow corresponds to the Amazonas Basin. Polygons correspond to occurrences of *Neognathodus bassleri* in different world paleogeographic regions. Modified from Scotese (2014).

Figure 19. Paleogeographic map of the Middle Pennsylvanian. Area in yellow corresponds to the Amazonas Basin. Polygons correspond to occurrences of *Neognathodus atokaensis* in different world paleogeographic regions. Modified from Scotese (2014).

Figure 20. Paleogeographic map of the Middle Pennsylvanian. Area in yellow corresponds to the Amazonas Basin. Polygons correspond to occurrences of *Neognathodus medadultimus* in different world paleogeographic regions. Modified from Scotese (2014).

Figure 21. Paleogeographic map of the Middle Pennsylvanian. Area in yellow corresponds to the Amazonas Basin. Polygons correspond to occurrences of *Neognathodus roundyi* in different world paleogeographic regions. Modified from Scotese (2014).

Figure 22. Paleogeographic map of the Middle Pennsylvanian. Area in yellow corresponds to the Amazonas Basin. Polygons correspond to occurrences of *Neognathodus bothrops* in different world paleogeographic regions. Modified from Scotese (2014).

Figure 23. Hypothetical cross-section of the Pennsylvanian sea in the American Midcontinent. Upper section shows sedimentary facies and circulation patterns. The lower diagram shows the inferred habitat distribution of the conodonts. Modified from Sweet (1988).

Figura 1

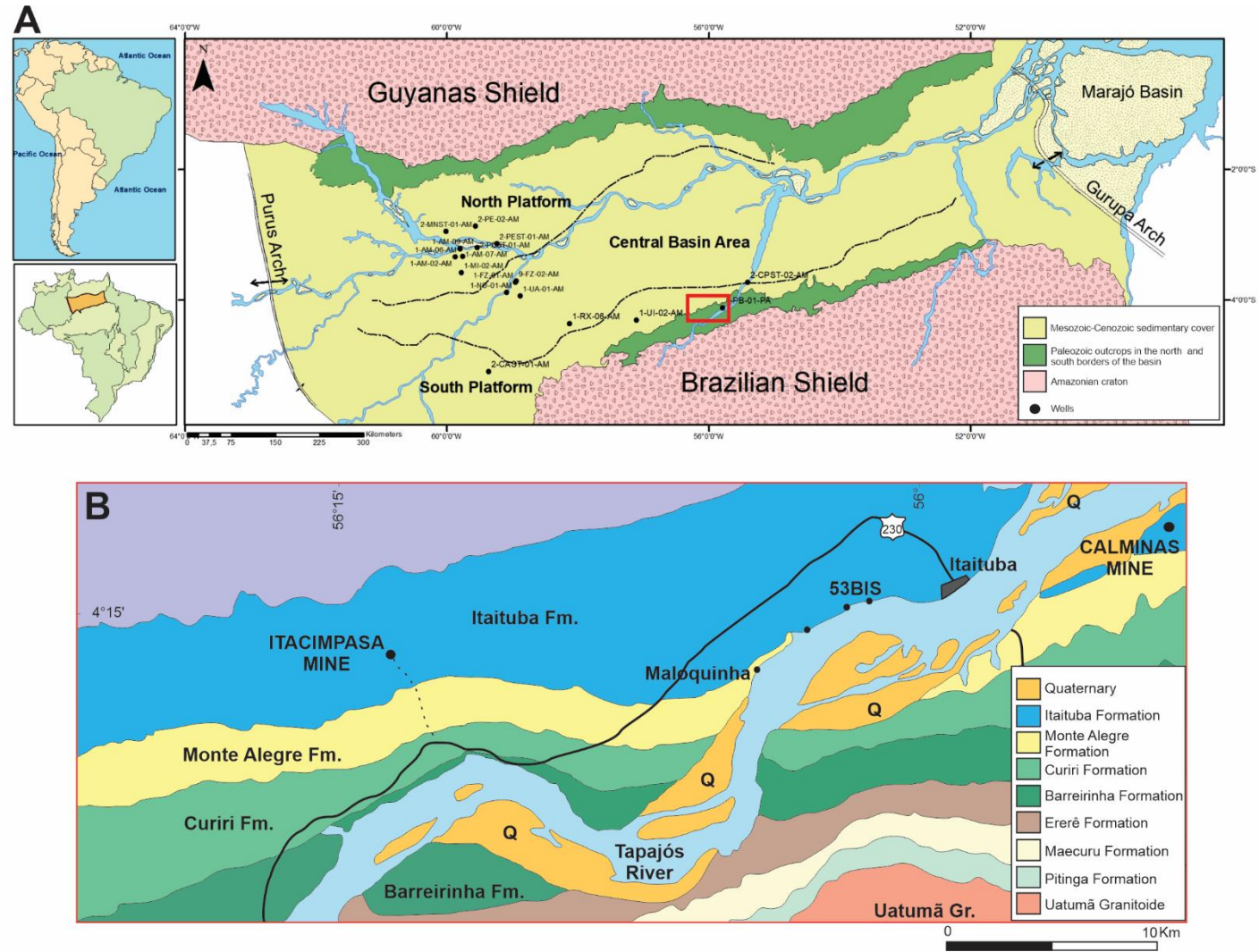


Figura 2

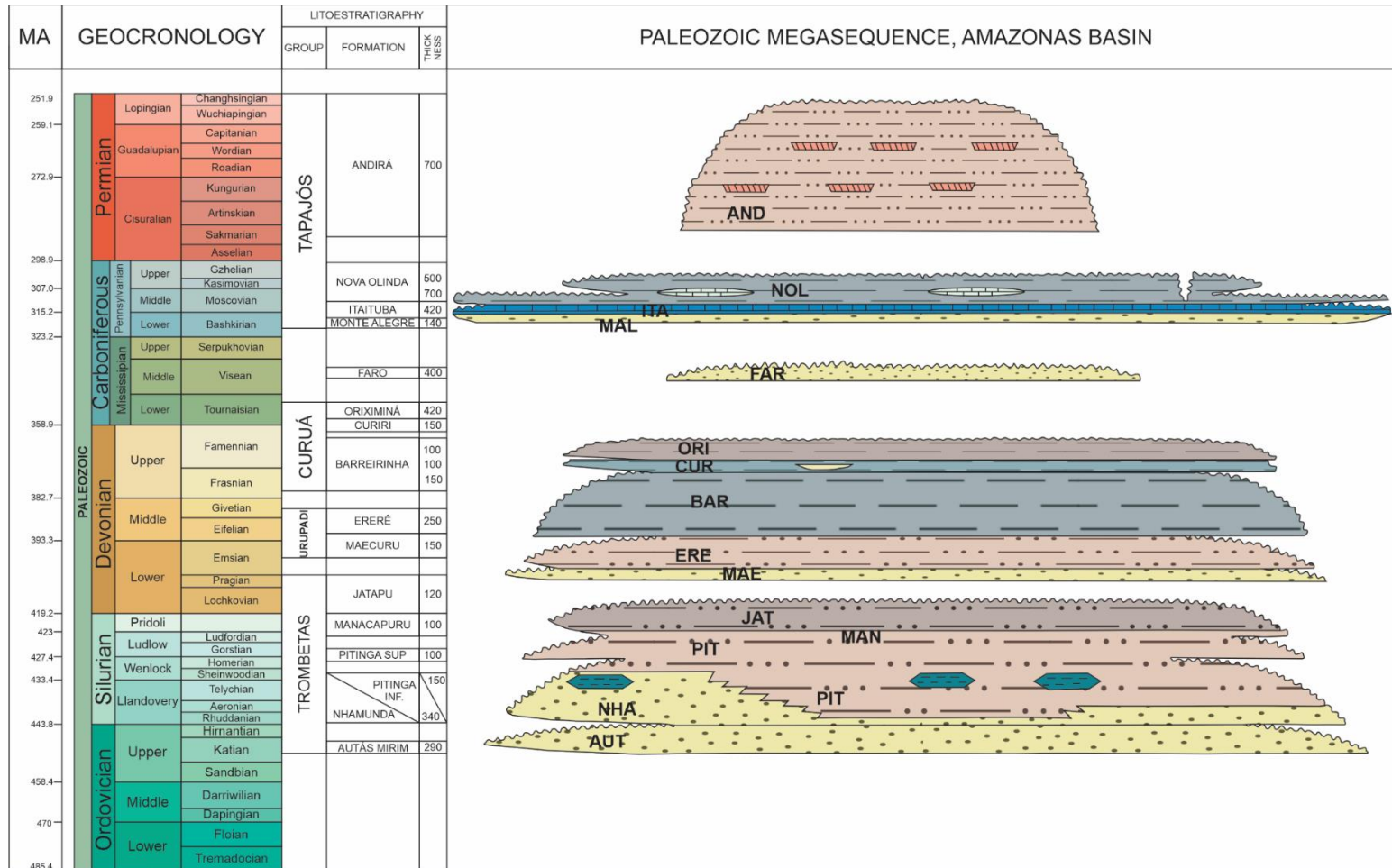


Figura 3

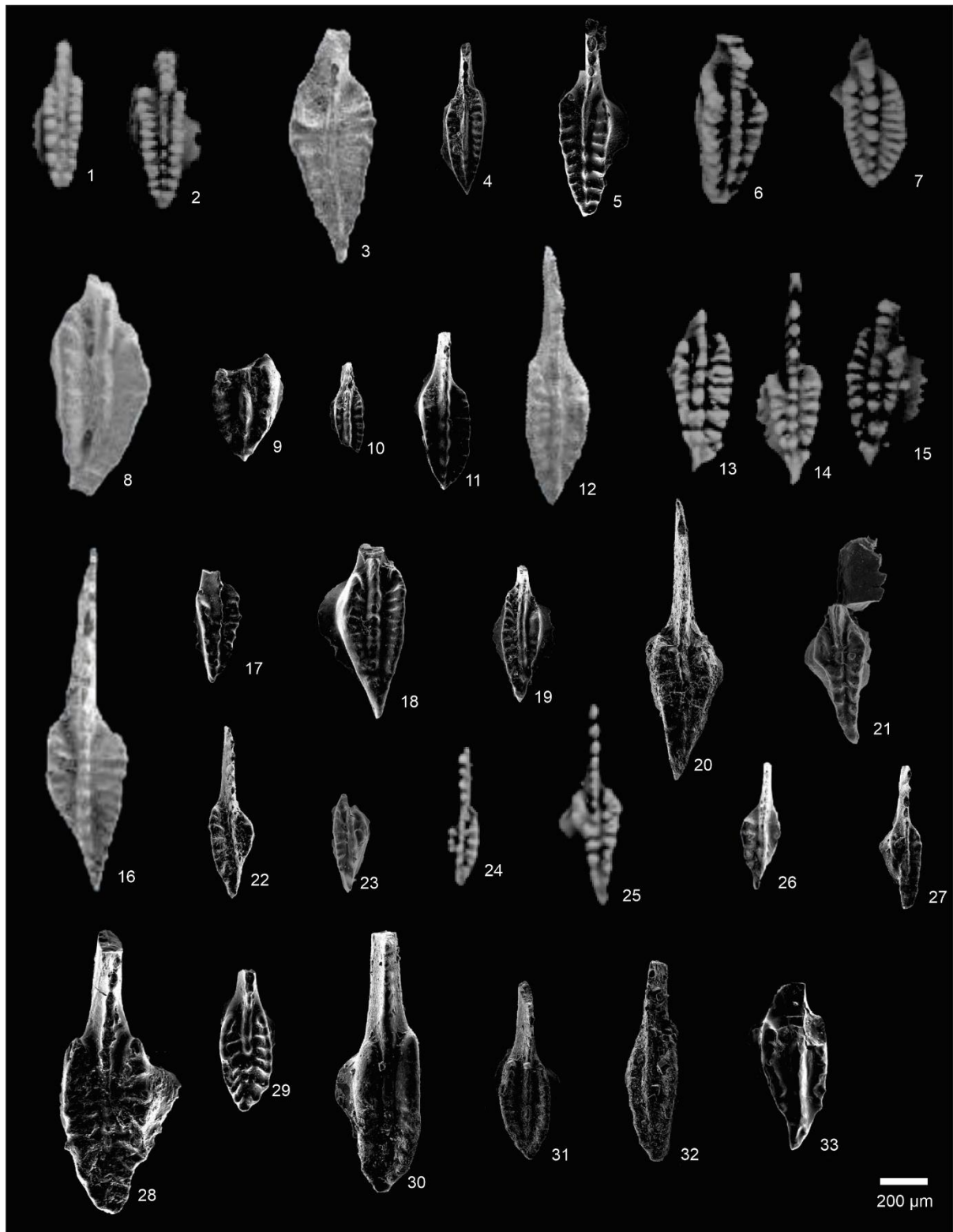


Figura 4

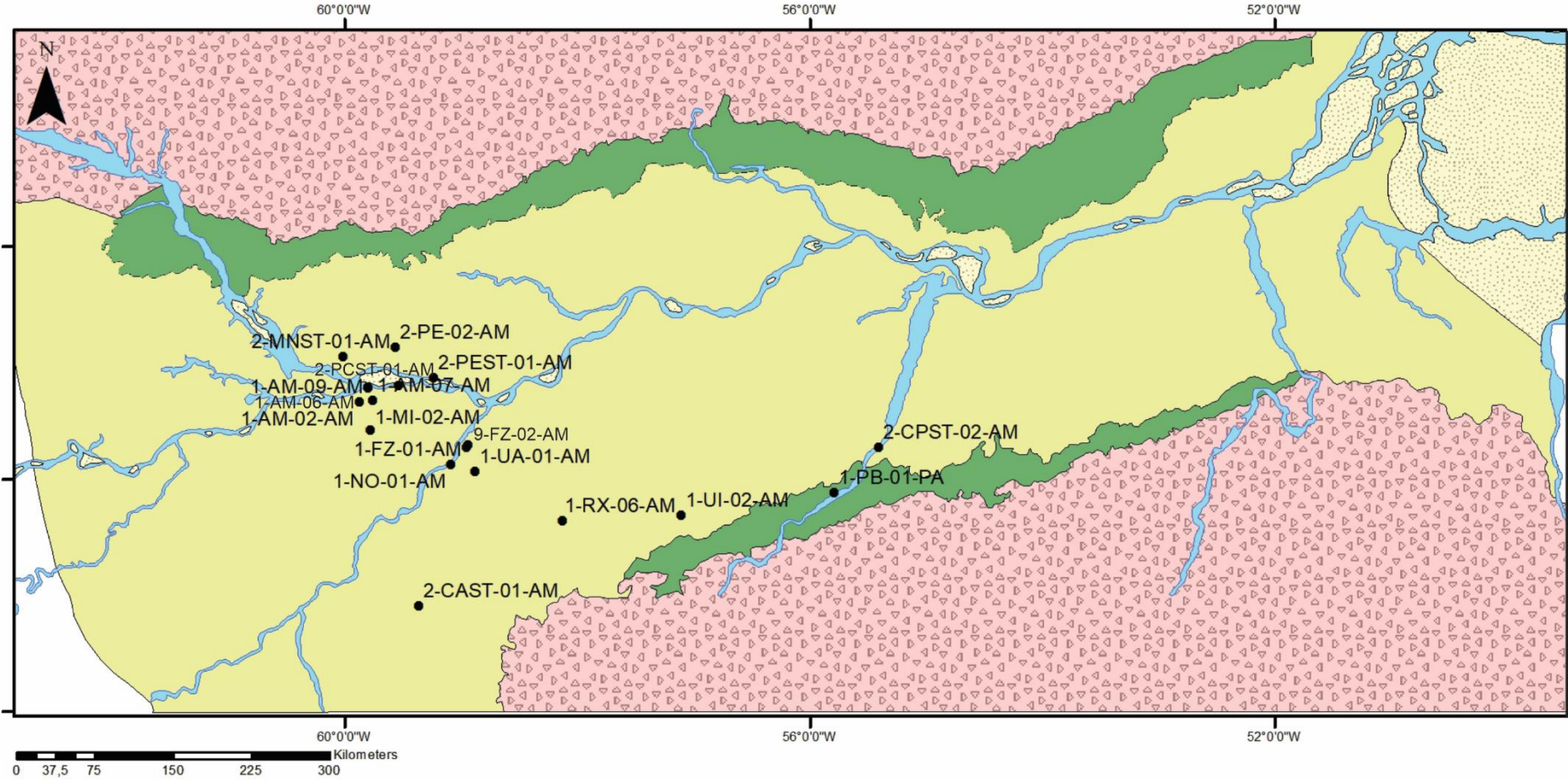


Figura 5

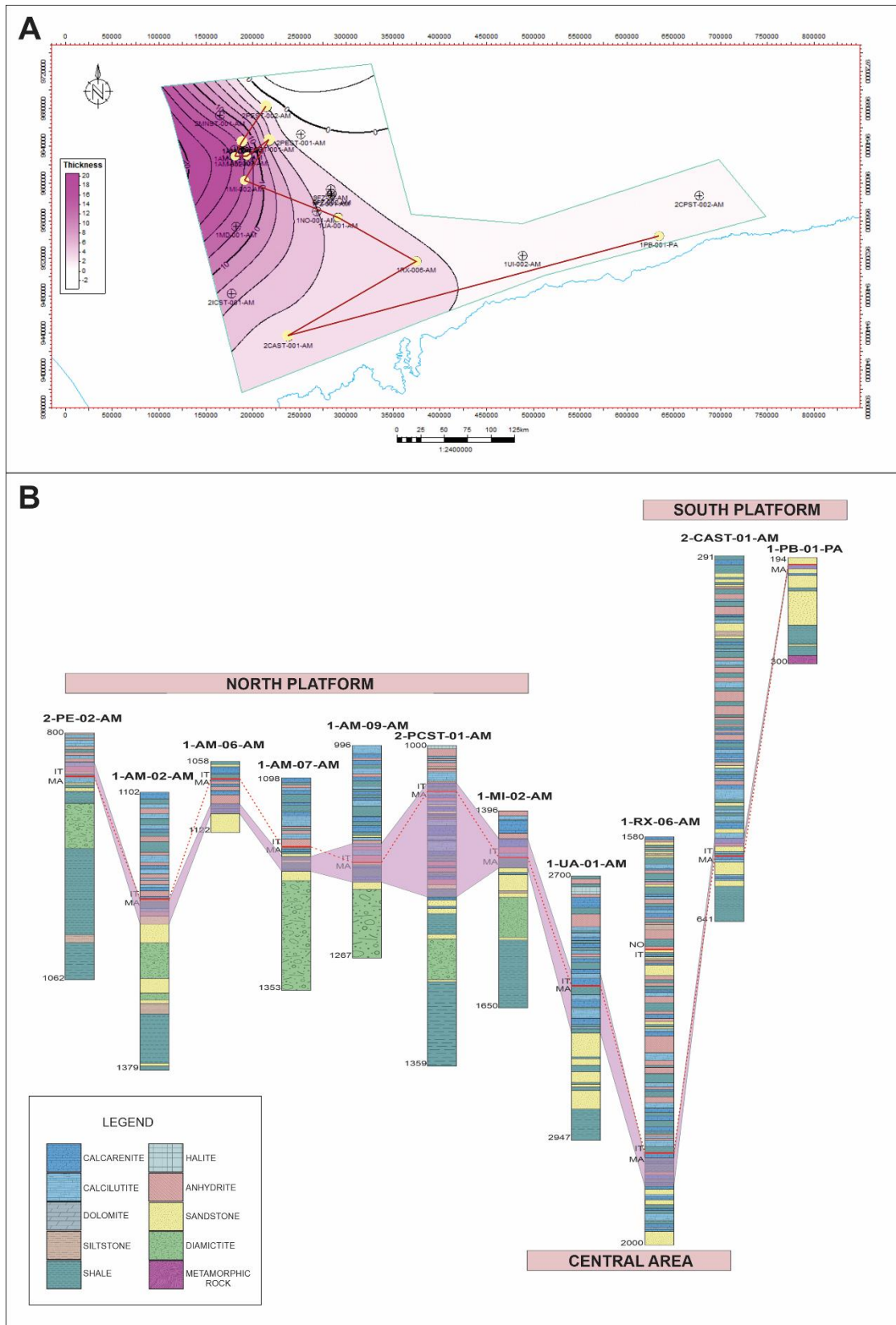


Figura 6

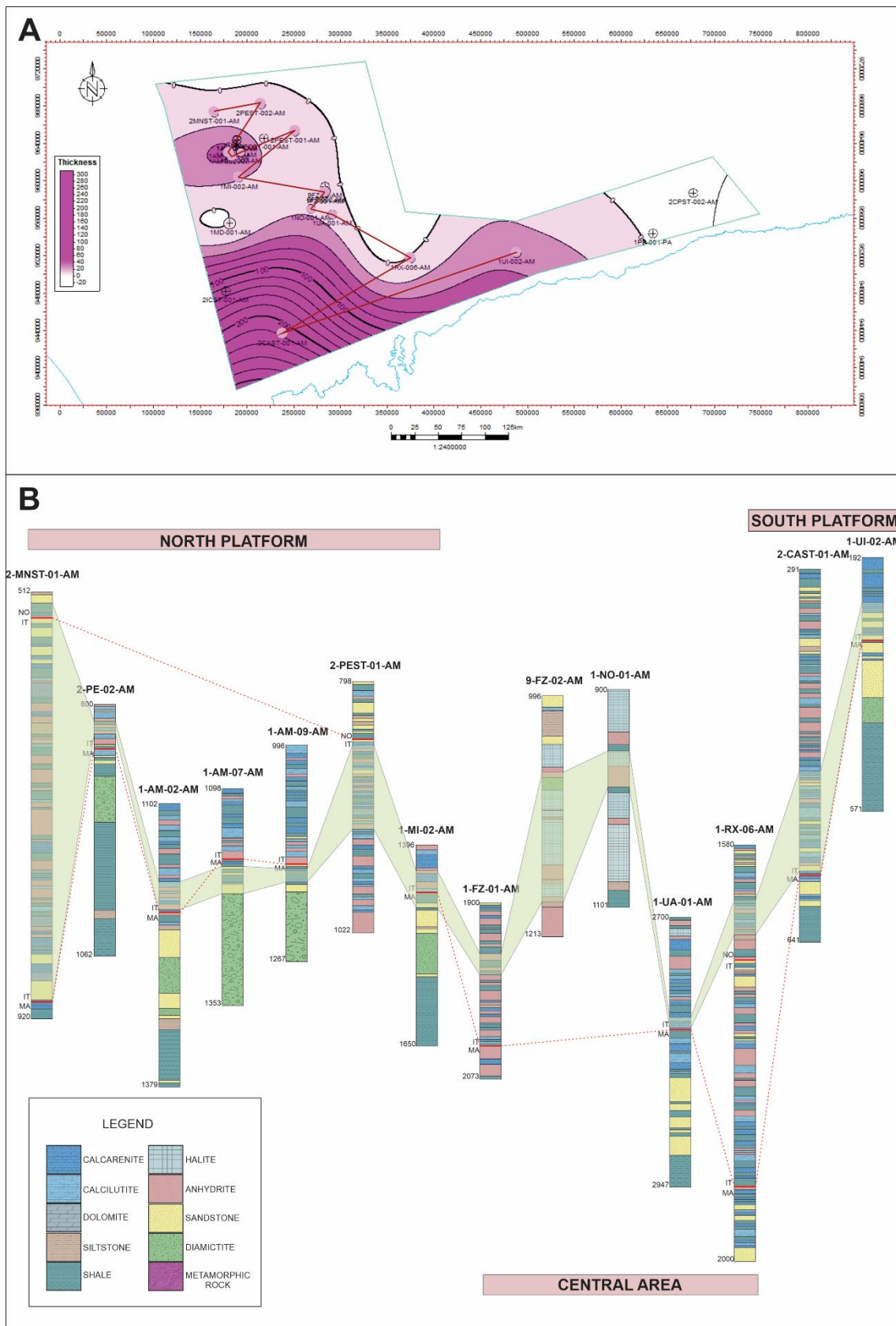


Figura 7

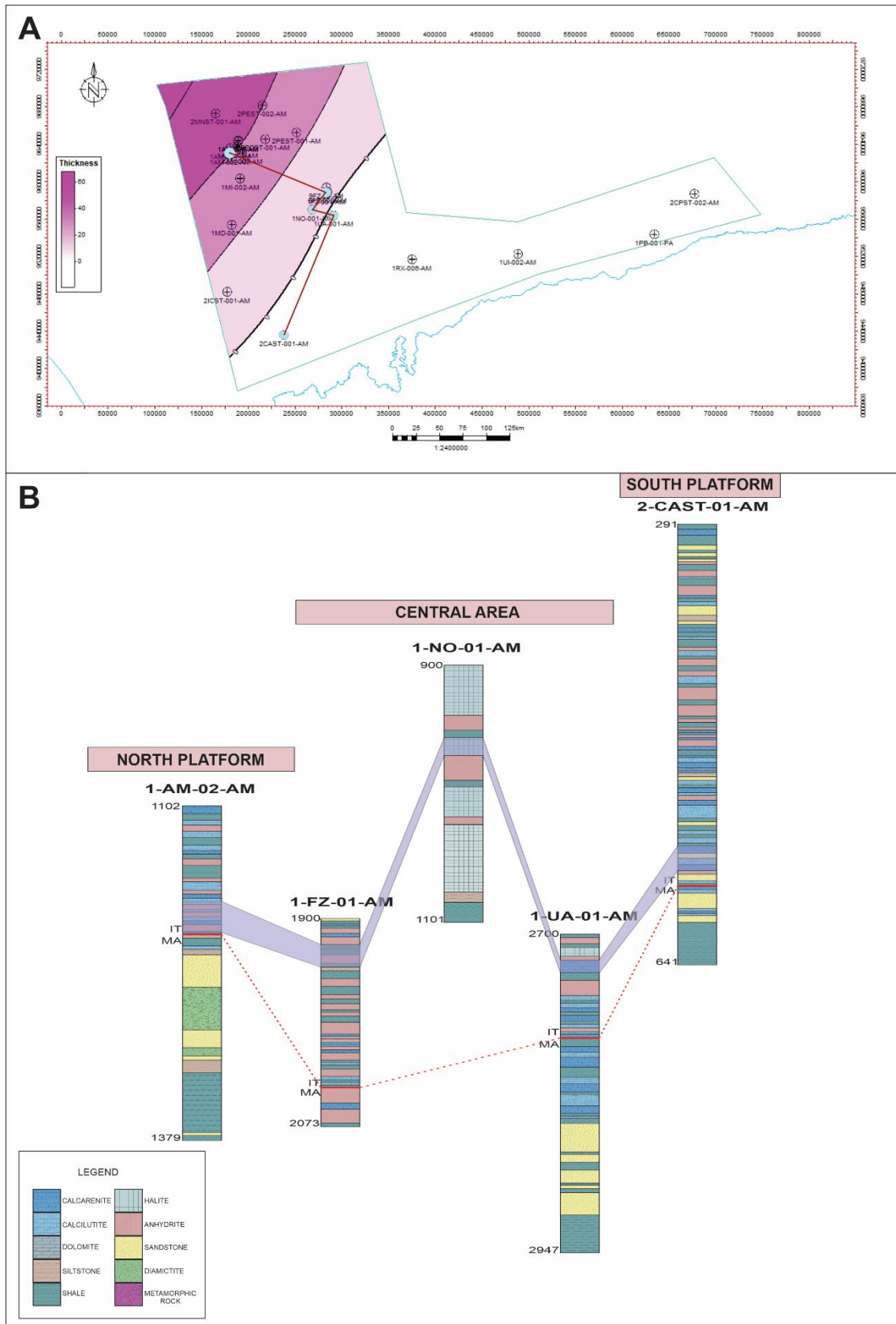


Figura 8

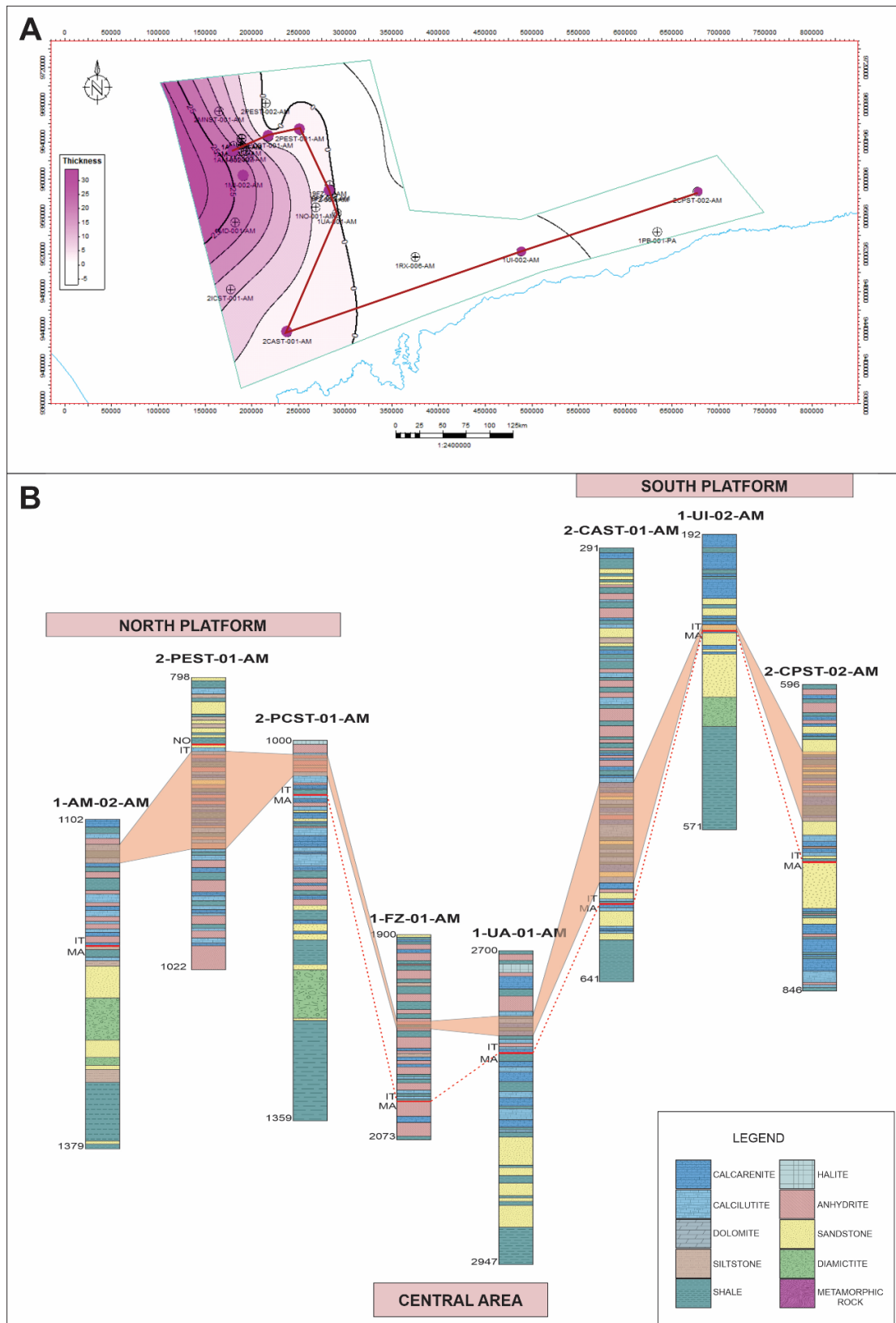


Figura 9

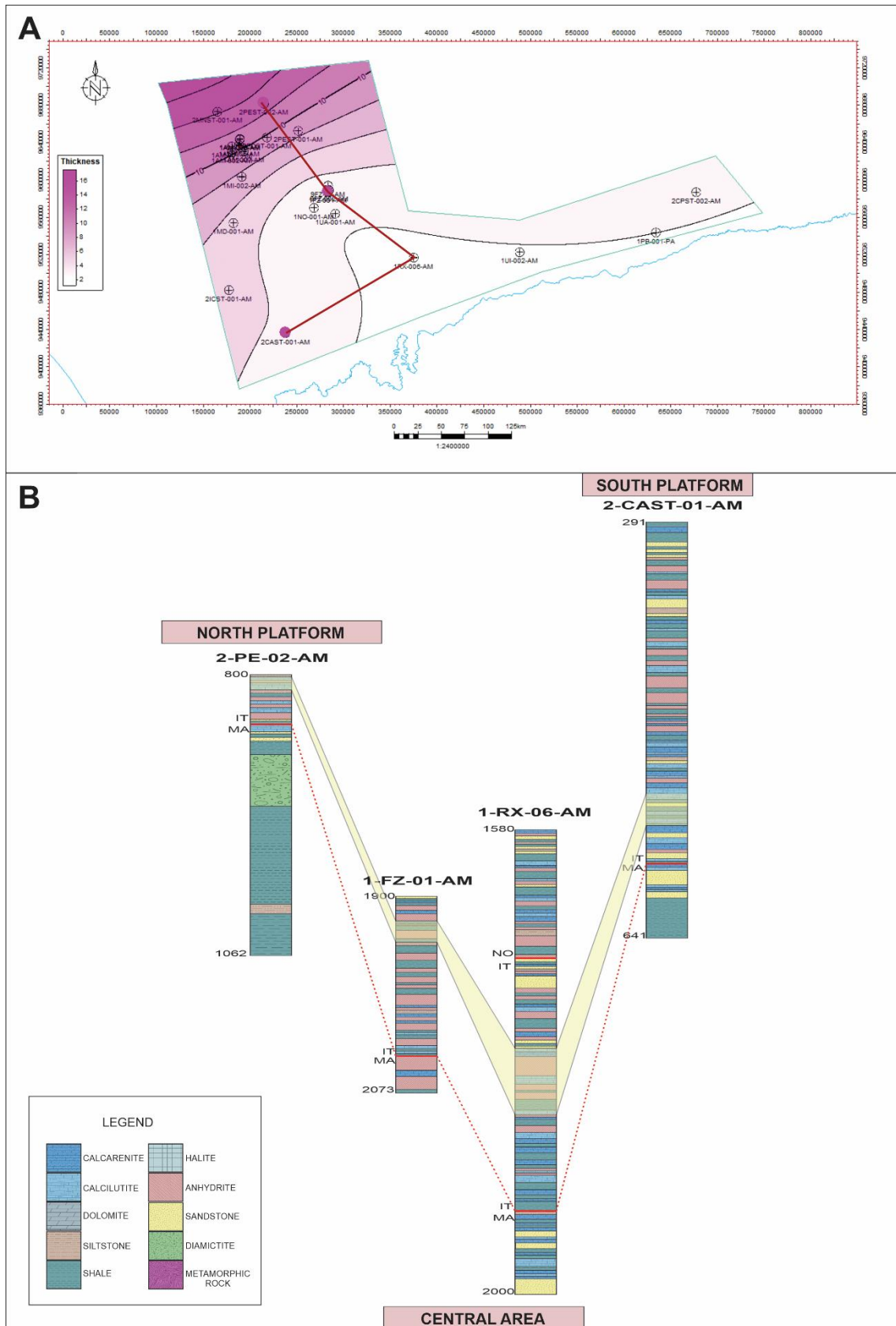


Figura 10

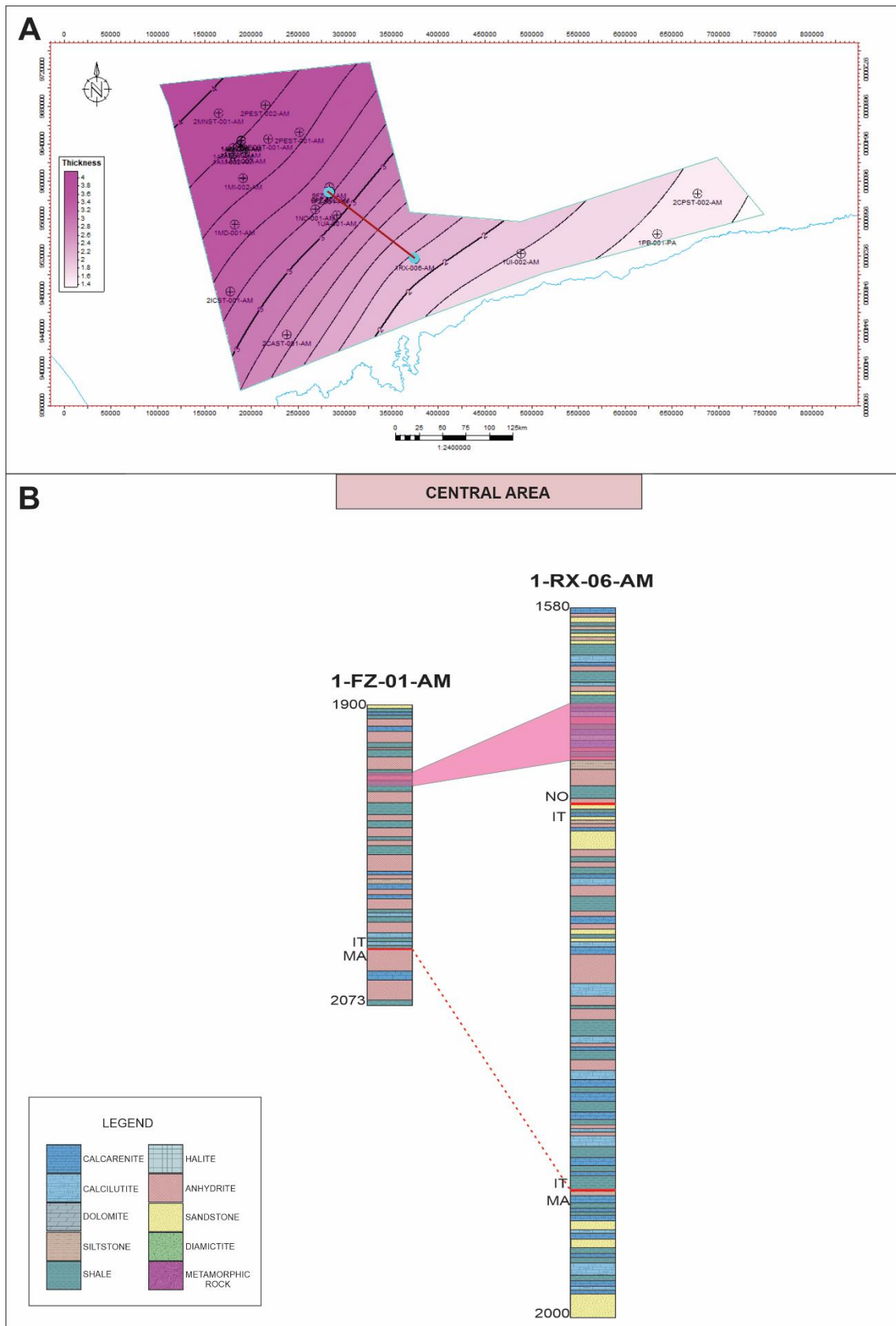


Figura 11

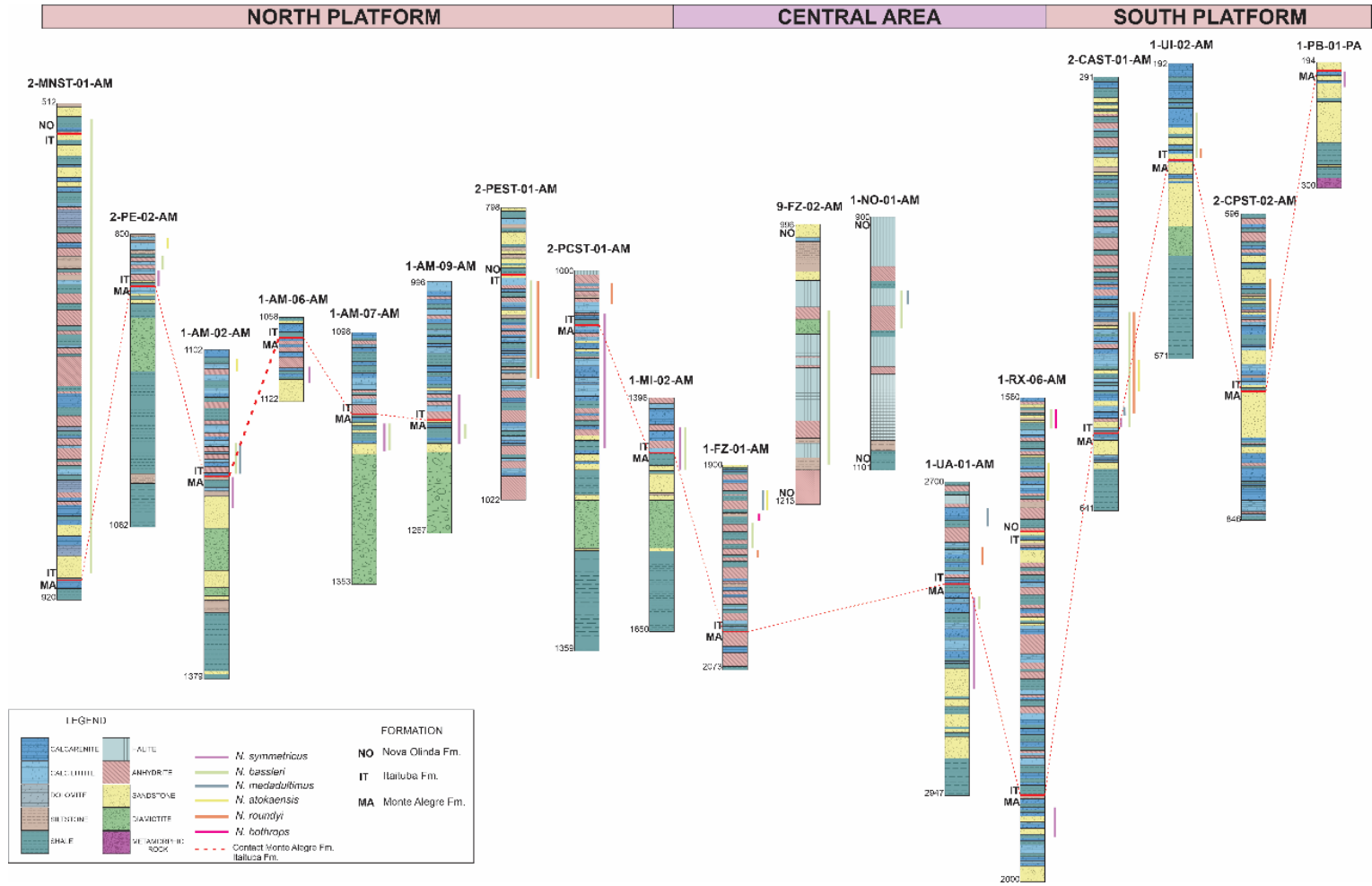


Figura 13

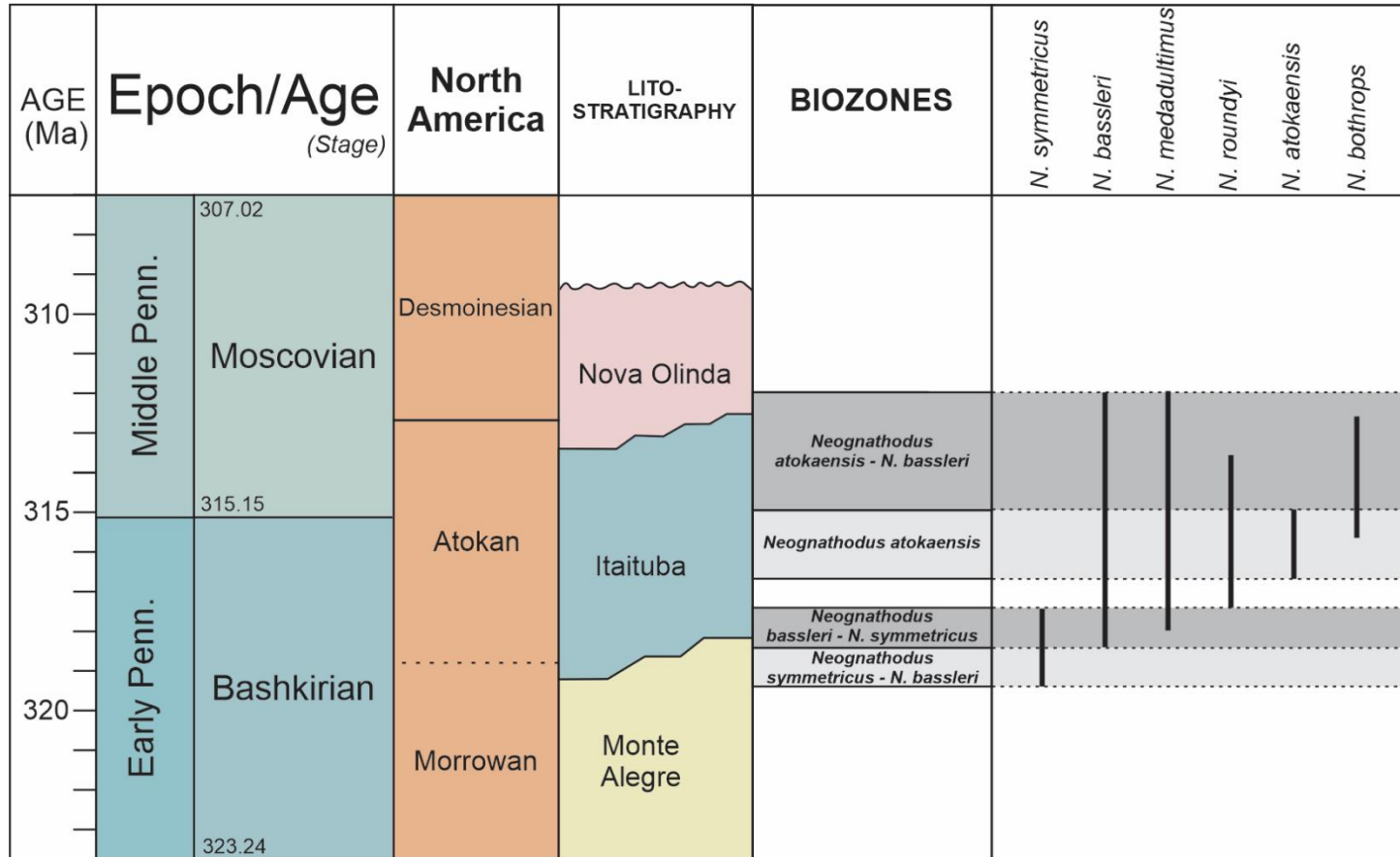


Figura 15

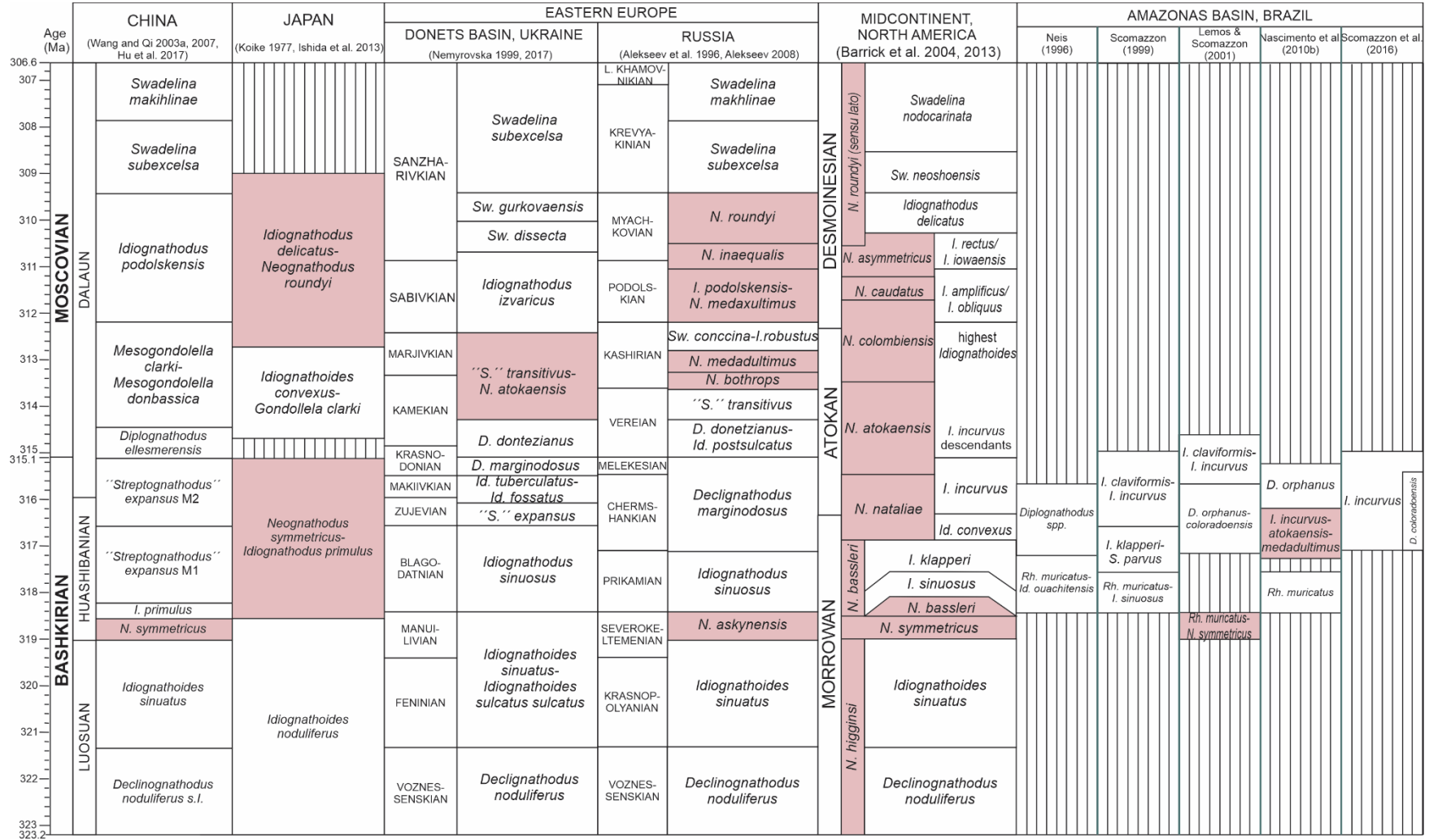


Figura 16

Middle Pennsylvanian
Moscovian
309.5 Ma

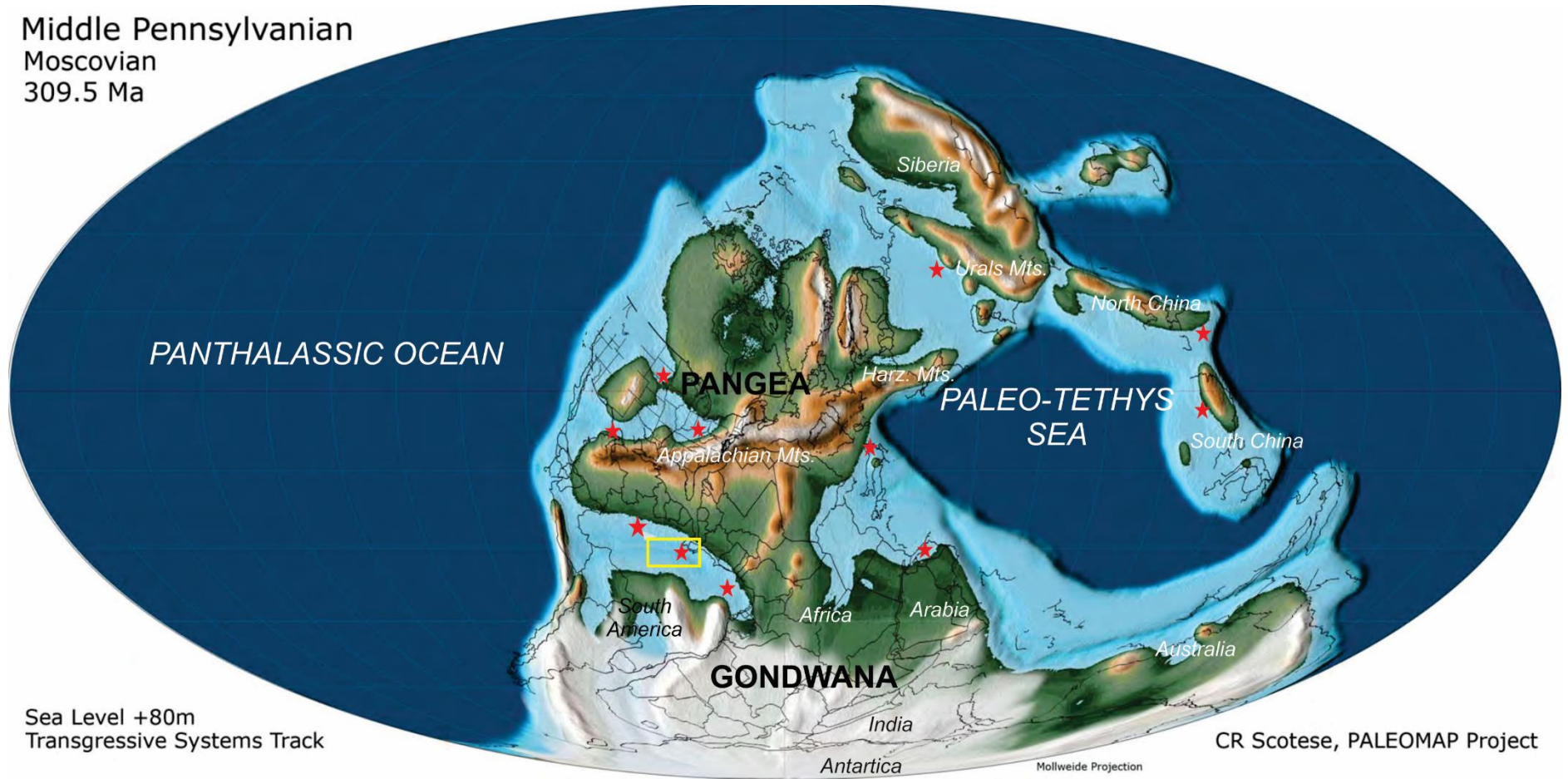
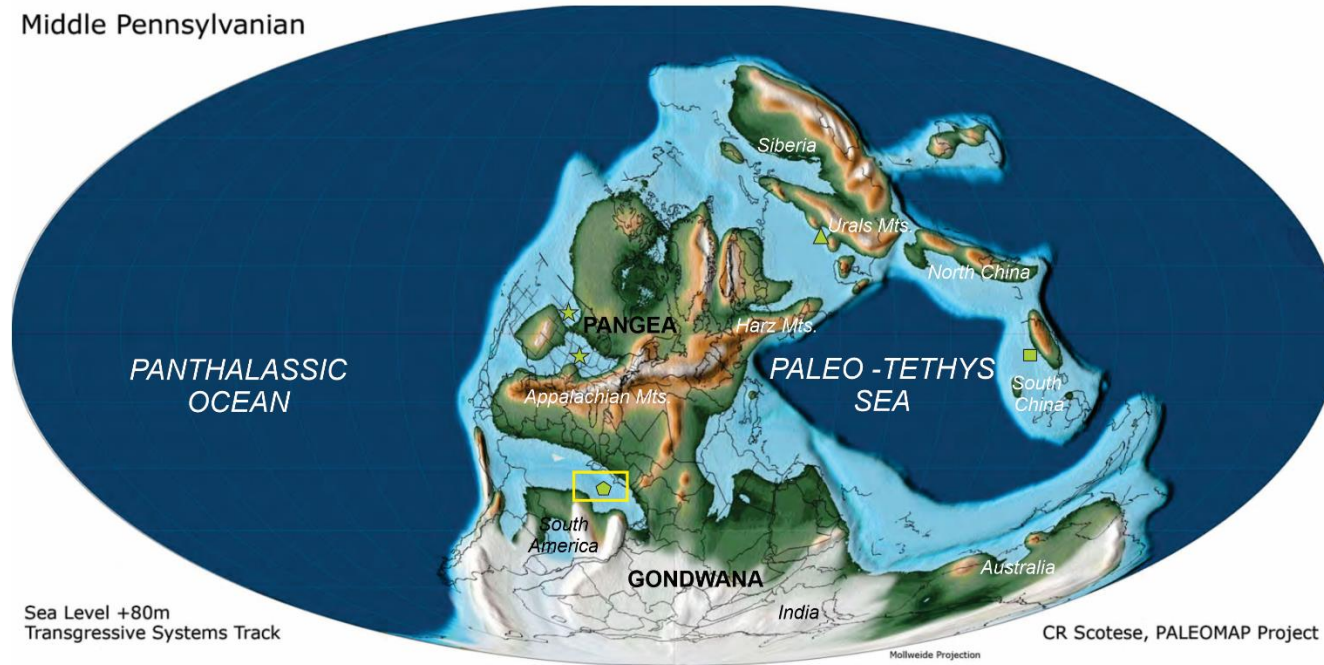


Figura 19

Middle Pennsylvanian



LEGEND

- ★ United States - *N. atokaensis*
- China - *N. atokaensis*
- ◆ Brazil - *N. atokaensis*
- ▲ Russia - *N. atokaensis*
- Amazonas Basin's location

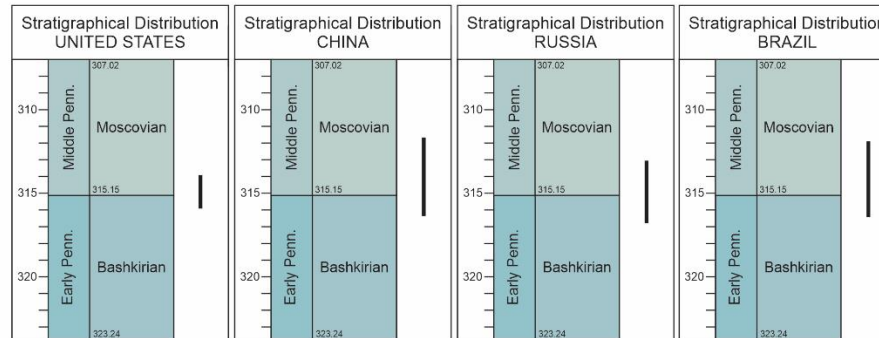
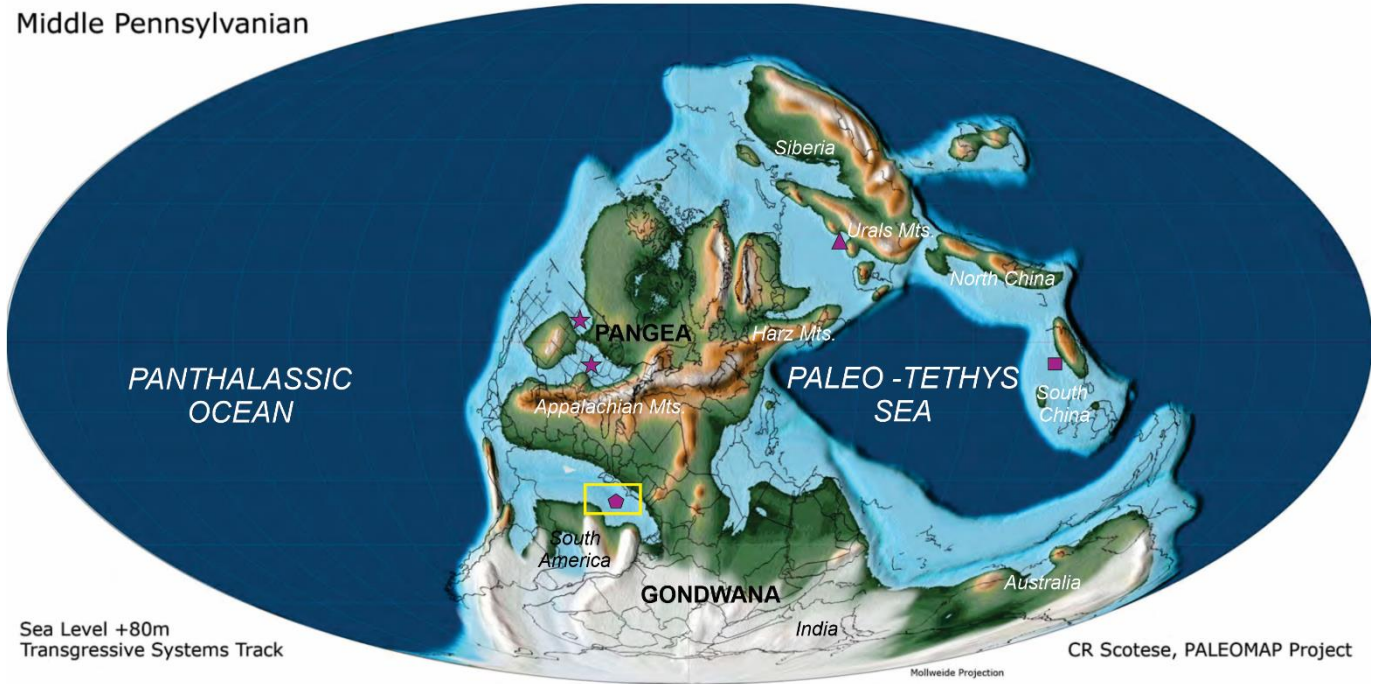


Figura 20

Middle Pennsylvanian



Sea Level +80m
Transgressive Systems Track

CR Scotese, PALEOMAP Project

LEGEND

- ★ United States - *N. medadulitimus*
- China - *N. medadulitimus*
- ◆ Brazil - *N. medadulitimus*
- ▲ Russia - *N. medadulitimus*
- Amazonas Basin's location

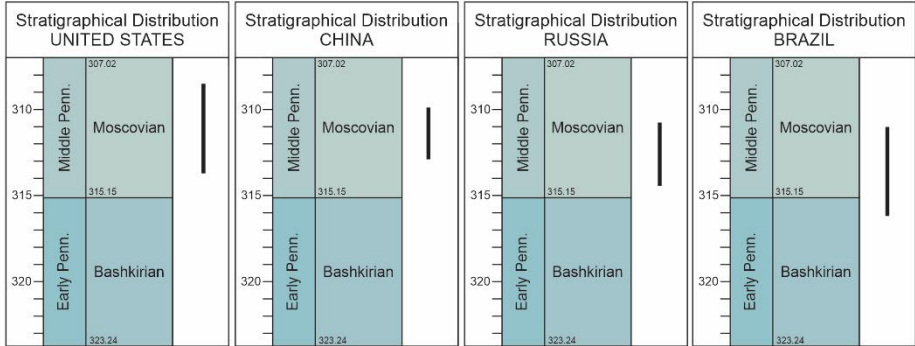


Figura 21

Middle Pennsylvanian

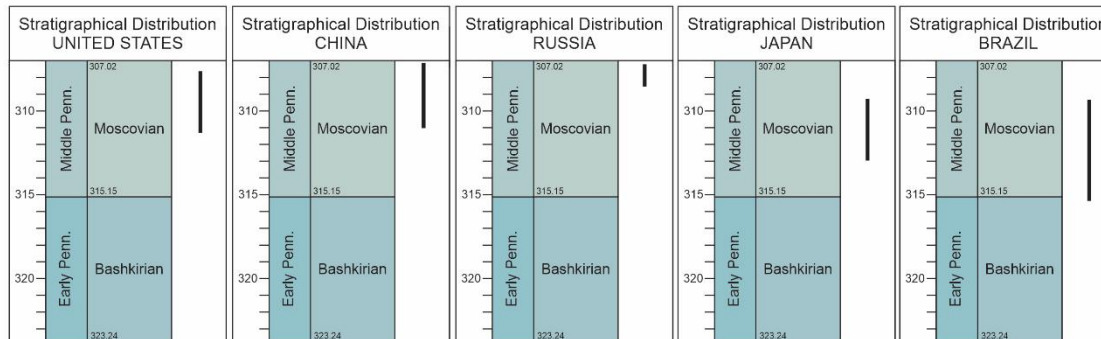
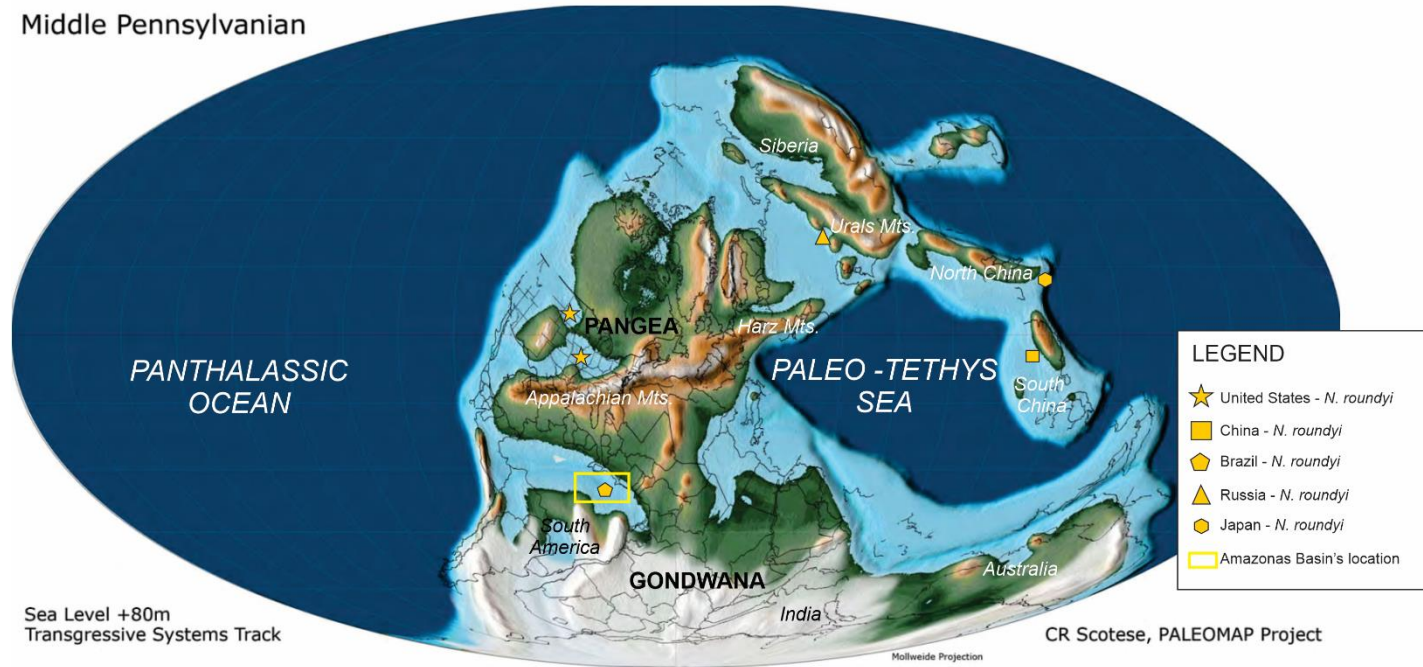
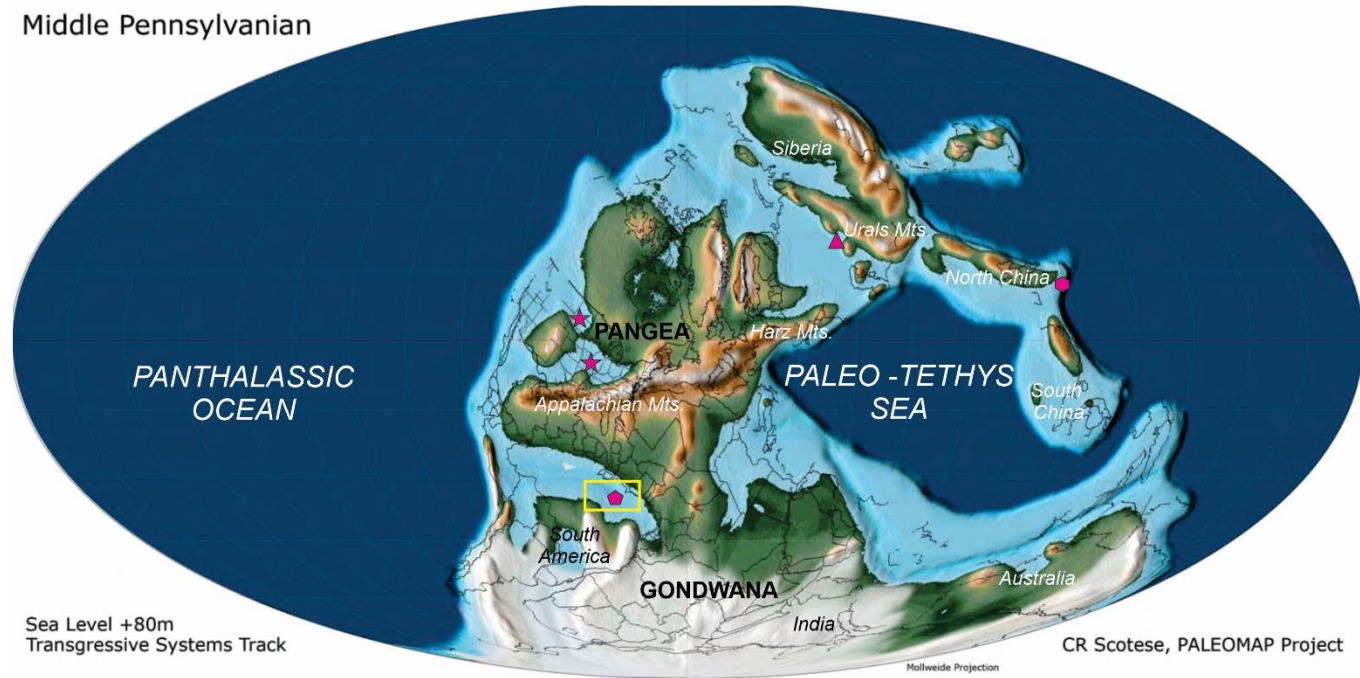


Figura 22

Middle Pennsylvanian



LEGEND

- ★ United States - *N. bothrops*
- ◆ Brazil - *N. bothrops*
- ▲ Russia - *N. bothrops*
- Japan - *N. bothrops*
- Amazonas Basin's location

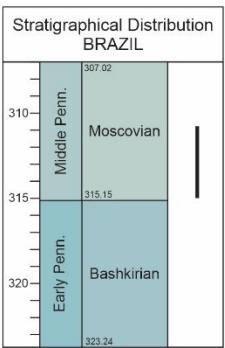
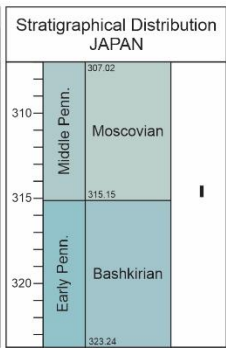
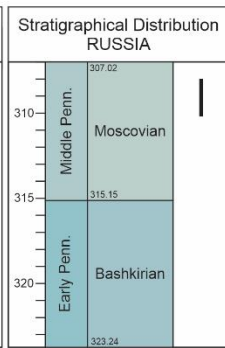
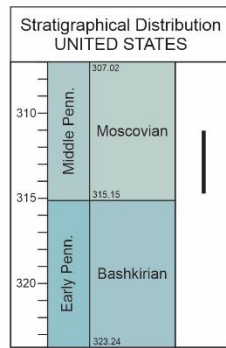
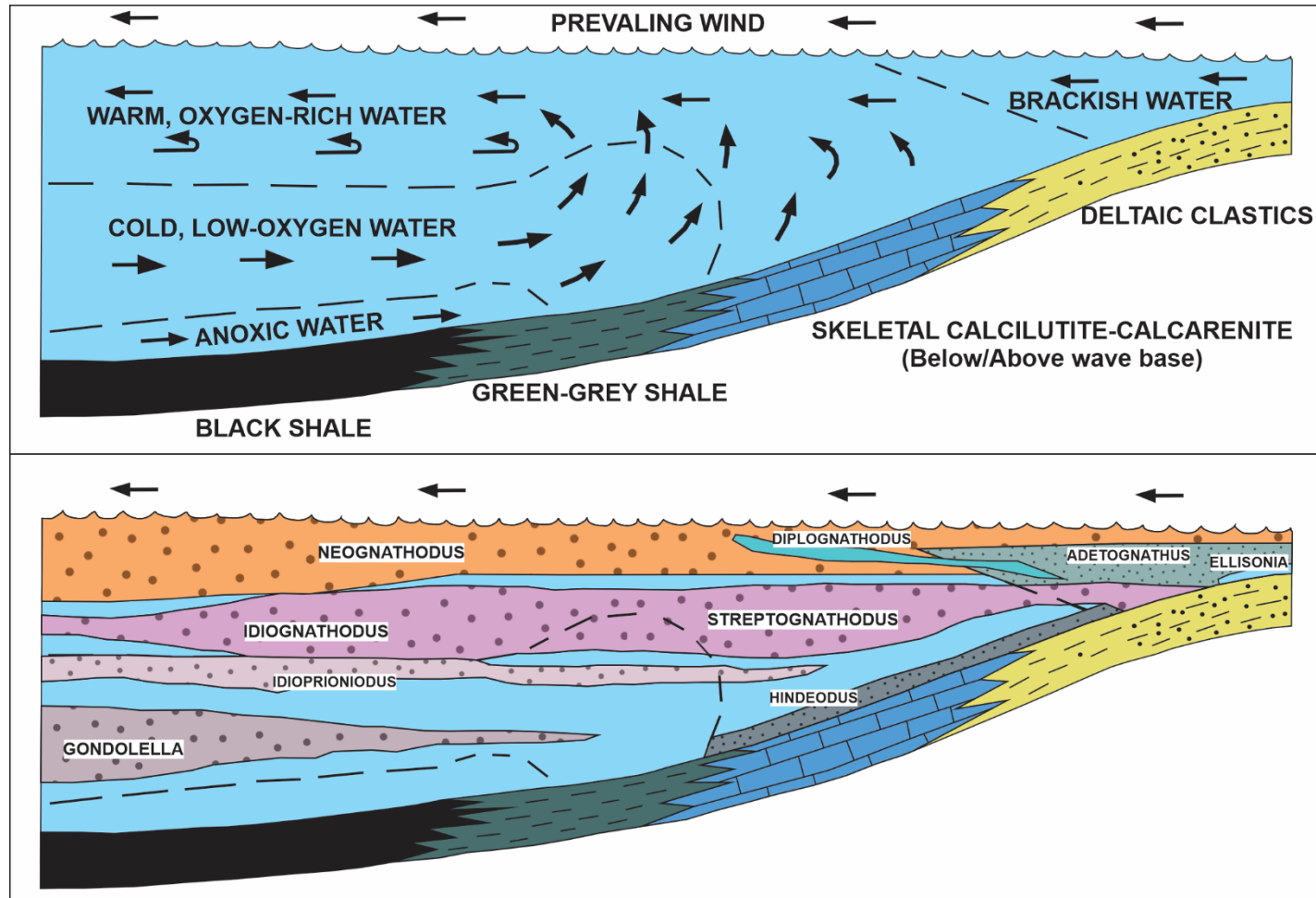


Figura 23



COMPLEMENTOS

Well	POÇO		LOCALIZAÇÃO		CONODONTE	CAMADAS		TOPO	BASE	FORMAÇÃO
	Core	Box	UTM X	UTM Y		Litologia	Espesura			
1NO-001-AM	4	CX 2-5	268435.30	9570694.60	<i>N. bassleri</i>	Halita	8,4	960,3	968,7	Nova Olinda
1NO-001-AM	6	CX 2-3	268435.30	9570694.60	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	8,14	968,7	976,84	Nova Olinda
1NO-001-AM	4	CX 2-5	268435.30	9570694.60	<i>N. medadulitimus</i>	Halita	6,3	960,3	966,3	Nova Olinda
2MNST-001-AM	16	CX 3-3	165030.02	9673594.88	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	2,3	529,63	531,93	Nova Olinda
2MNST-001-AM	16	CX 3-3	165030.02	9673594.88	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	2,16	531,93	534,09	Nova Olinda
2MNST-001-AM	24	CX 1-3	165030.02	9673594.88	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	4,79	867,25	872,04	Itaituba
1AM-001-AM	4	CX 1-4/3-4	180581.60	9636399.60	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	1	1153	1154	Monte Alegre
1AM-001-AM	4	CX 1-4/3-4	180581.60	9636399.60	<i>N. symmetricus</i>	Folhelho	2	1154	1156	Monte Alegre
1AM-001-AM	4	CX 1-4/3-4	180581.60	9636399.60	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	1,5	1156	1157,5	Monte Alegre
1AM-001-AM	4	CX 1-4/3-4	180581.60	9636399.60	<i>N. symmetricus</i>	Folhelho	0,2	1157,5	1157,7	Monte Alegre
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	4	1160	1164	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	3	1164	1167	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	3	1167	1170	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	7	1170	1177	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	3,5	1177	1180,5	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	1,5	1180,5	1182	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	4	1182	1186	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	3	1186	1189	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	2,5	1189	1191,5	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	5	1191,5	1196,5	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	2,5	1196,5	1199	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Siltito	3	1199	1202	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	5,5	1202	1207,5	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	2,5	1207,5	1210	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Calclutito	4	1160	1164	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Anidrita	3	1164	1167	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Calcarenito	3	1167	1170	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Calclutito	7	1170	1177	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Anidrita	3,5	1177	1180,5	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Calclutito	1,5	1180,5	1182	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Anidrita	4	1182	1186	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Calclutito	3	1186	1189	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Calcarenito	2,5	1189	1191,5	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Anidrita	5	1191,5	1196,5	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Calcarenito	2,5	1196,5	1199	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Siltito	3	1199	1202	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Folhelho	5,5	1202	1207,5	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Calclutito	2,5	1207,5	1210	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. medadulitimus</i>	Calclutito	2,5	1207,5	1210	Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. symmetricus</i>	Calclutito		1210		Itaituba
1AM-002-AM	2	-	180596.20	9630253.30	<i>N. roundyi</i>	Calclutito		1160		Itaituba
1AM-005-AM	9	-	188202.30	9638008.10	<i>N. symmetricus</i>	Calclutito		1133		Itaituba
1AM-006-AM	3-4	-	189099.00	9643808.20	<i>N. symmetricus</i>	Folhelho	1,5	1100	1101,5	Monte Alegre
1AM-006-AM	3-4	-	189099.00	9643808.20	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	1,5	1101,5	1103	Monte Alegre
1AM-006-AM	3-4	-	189099.00	9643808.20	<i>N. symmetricus</i>	Folhelho	2	1103	1105	Monte Alegre
1AM-006-AM	3-4	-	189099.00	9643808.20	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	1	1105	1106	Monte Alegre
1AM-007-AM	9	-	193217.90	9631510.40	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	1	1175	1176	Monte Alegre
1AM-007-AM	9	-	193217.90	9631510.40	<i>N. bassleri</i>	Arenito	2	1176	1178	Monte Alegre
1AM-007-AM	9	-	193217.90	9631510.40	<i>N. symmetricus</i>	Folhelho	1	1175	1176	Monte Alegre
1AM-007-AM	9	-	193217.90	9631510.40	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	2	1176	1178	Monte Alegre
1AM-009-AM	2	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Anidrita	3	1081	1084	Itaituba
1AM-009-AM	2	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Calclutito	1,5	1084	1085,5	Itaituba
1AM-009-AM	2	-	189180.20	9644504.60	<i>N. askyvensis</i>	Anidrita	3	1081	1084	Itaituba
1AM-009-AM	2	-	189180.20	9644504.60	<i>N. askyvensis</i>	Calclutito	1,5	1084	1085,5	Itaituba
1AM-009-AM	2	-	189180.20	9644504.60	<i>cf Symmetricus</i>	Anidrita	3	1081	1084	Itaituba
1AM-009-AM	2	-	189180.20	9644504.60	<i>N. sp</i>	Calclutito	1,5	1084	1085,5	Itaituba
1AM-009-AM	2	-	189180.20	9644504.60	<i>N. sp</i>	Anidrita	3	1081	1084	Itaituba
1AM-009-AM	2	-	189180.20	9644504.60	<i>N. sp</i>	Calclutito	1,5	1084	1085,5	Itaituba
1AM-009-AM	4	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Anidrita	2	1088	1090	Itaituba
1AM-009-AM	4	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Calclutito	0,5	1090	1090,5	Itaituba
1AM-009-AM	9	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Anidrita	2	1100	1102	Itaituba
1AM-009-AM	9	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	0,5	1102	1102,5	Itaituba
1AM-009-AM	9	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Anidrita	2	1100	1102	Itaituba
1AM-009-AM	9	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	0,5	1102	1102,5	Itaituba
1AM-009-AM	10-14	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	0,5	1102,5	1103	Monte Alegre
1AM-009-AM	10-14	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Folhelho	2	1103	1105	Monte Alegre
1AM-009-AM	10-14	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	1	1105	1106	Monte Alegre
1AM-009-AM	10-14	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Folhelho	8	1106	1114	Monte Alegre
1AM-009-AM	10-14	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	1,5	1114	1115,5	Monte Alegre
1AM-009-AM	13-14	-	189180.20	9644504.60	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	7,5	1106,5	1114	Monte Alegre
1AM-009-AM	13-14	-	189180.20	9644504.60	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	1,5	1114	1115,5	Monte Alegre
1AM-009-AM	15	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	1,5	1115,5	1117	Monte Alegre
1AM-009-AM	15	-	189180.20	9644504.60	<i>N. symmetricus</i>	Folhelho	0,5	1117	1117,5	Monte Alegre
2PEST-002-AM	2-3	CX 1-2	215022.40	9682264.30	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	3	815	818	Itaituba
2PEST-002-AM	2-3	CX 1-2	215022.40	9682264.30	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	2,5	818	820,5	Itaituba
2PEST-002-AM	2-3	CX 1-2	215022.40	9682264.30	<i>Atokaensis</i>	Anidrita	1,8	818,7	820,5	Itaituba
2PEST-002-AM	2-3	CX 1-2	215022.40	9682264.30	<i>N. symmetricus</i>	Anidrita	1,8	818,7	820,5	Itaituba
2PEST-002-AM	2-3	CX 1-2	215022.40	9682264.30	<i>N. symmetricus</i>	Anidrita	1,8	818,7	820,5	Itaituba
2PEST-002-AM	6	CX 2-3	215022.40	9682264.30	<i>Atokaensis</i>	Calclutito	4	827	831	Itaituba
2PEST-002-AM	6	CX 2-3	215022.40	9682264.30	<i>Atokaensis</i>	Anidrita	0,4	831	831,4	Itaituba
2PEST-002-AM	6	CX 2-3	215022.40	9682264.30	<i>N. symmetricus</i>	Calclutito	4	827	831	Itaituba
2PEST-002-AM	6	CX 2-3	215022.40	9682264.30	<i>N. symmetricus</i>	Anidrita	0,4	831	831,4	Itaituba
2PCST-001-AM	10	CX 1-2	218106.70	9646069.40	<i>N. roundyi</i>	Calcarenito	1,73	1059,23	1060,96	Itaituba
2PCST-001-AM	10	CX 1-2	218106.70	9646069.40	<i>N. sp</i>	Calcarenito	1,73	1059,23	1060,96	Itaituba
2PCST-001-AM	21	CX 1-4	218106.70	9646069.40	<i>N. symmetricus</i>	Folhelho	2,8	1137,21	1140,01	Monte Alegre
2PCST-001-AM	21	CX 1-4	218106.70	9646069.40	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	0,62	1140,01	1140,63	Monte Alegre

Tabela 1) Dados litoestratigráficos, de poço e de conodontes analisados neste estudo.

2PEST-001-AM	2	CX 1-2	251543.50	9653180.60	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	2,1	809,2	811,3	Nova Olinda
2PEST-001-AM	2	CX 1-2	251543.50	9653180.60	<i>N. roundyi</i>	Calclutito	2,1	809,2	811,3	Nova Olinda
2PEST-001-AM	4	CX 2-2	251543.50	9653180.60	<i>N. bassleri</i>	Siltito	0,8	925,7	926,5	Itaituba
2PEST-001-AM	4	CX 2-2	251543.50	9653180.60	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	1,5	926,5	928	Itaituba
2PEST-001-AM	4	CX 2-2	251543.50	9653180.60	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	0,2	928	928,2	Itaituba
2PEST-001-AM	4	CX 2-2	251543.50	9653180.60	<i>N. roundyi</i>	Siltito	0,8	925,7	926,5	Itaituba
2PEST-001-AM	4	CX 2-2	251543.50	9653180.60	<i>N. roundyi</i>	Calclutito	1,5	926,5	928	Itaituba
2PEST-001-AM	4	CX 2-2	251543.50	9653180.60	<i>N. roundyi</i>	Folhelho	0,2	928	928,2	Itaituba
9FZ-28-AM	183	CX 2-14	283446.30	9594464.60	<i>N. bassleri</i>	Calclutito		1003,5		Nova Olinda
9FZ-002-AM	7	CX 3-6	284567.70	9589476.50	<i>N. bassleri</i>	Halita	0,6	1062,4	1063	Nova Olinda
9FZ-002-AM	7	CX 3-6	284567.70	9589476.50	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	5,4	1063	1068,4	Nova Olinda
9FZ-002-AM	19	CX 15-18	284567.70	9589476.50	<i>N. bassleri</i>	Siltito		1197,5		Nova Olinda
9FZ-002-AM	19	CX 16-18	284567.70	9589476.50	<i>N. inequalis</i>	Halita		1187,5		Nova Olinda
1FZ-001-AM	25	CX 1-4	283270.10	9587825.50	<i>N. atokaensis</i>	Folhelho	3	1943	1946	Itaituba
1FZ-001-AM	25	CX 1-4	283270.10	9587825.50	<i>N. medadulitimus</i>	Folhelho	3	1943	1946	Itaituba
1FZ-001-AM	25	CX 1-4	283270.10	9587825.50	<i>N. bothrops</i>	Folhelho	3	1943	1946	Itaituba
1FZ-001-AM	25	CX 1-4	283270.10	9587825.50	<i>N. cf bothrops</i>	Folhelho	3	1943	1946	Itaituba
1FZ-001-AM	25	CX 1-4	283270.10	9587825.50	<i>N. tsensis</i>	Folhelho	3	1943	1946	Itaituba
1FZ-001-AM	25	CX 1-4	283270.10	9587825.50	<i>N. colombiensis</i>	Folhelho	3	1943	1946	Itaituba
1FZ-001-AM	31	CX 2-3	283270.10	9587825.50	<i>N. bassleri</i>	Anidrita		1964,9		Itaituba
1UA-001-AM	34	CX 3-4	283270.10	9587825.50	<i>N. roundyi</i>	Anidrita	0,6	1975,5	1976,1	Itaituba
1UA-001-AM	16	CX 3-3	291132.60	9564474.80	<i>N. medadulitimus</i>	Anidrita	3	2710,5	2713,5	Itaituba
1UA-001-AM	16	CX 3-3	291132.60	9564474.80	<i>N. roundyi</i>	Anidrita	3	2710,5	2713,5	Itaituba
1UA-001-AM	16	CX 3-3	291132.60	9564474.80	<i>N. uraculi</i>	Anidrita	3	2710,5	2713,5	Itaituba
1UA-001-AM	17	CX 1-1	291132.60	9564474.80	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	3	2758,4	2761,4	Itaituba
1UA-001-AM	17	CX 1-1	291132.60	9564474.80	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	3	2758,4	2761,4	Itaituba
1UA-001-AM	19	CX 1-2	291132.60	9564474.80	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	4	2856,9	2860,9	Monte Alegre
2CAST-001-AM	1-2	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	0,6	327,4	328	Itaituba
2CAST-001-AM	1-2	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	1,5	328	329,5	Itaituba
2CAST-001-AM	1-2	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. roundyi</i>	Calcarenito	0,6	327,4	328	Itaituba
2CAST-001-AM	1-2	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. roundyi</i>	Anidrita	1,5	328	329,5	Itaituba
2CAST-001-AM	5	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	2,2	499,3	501,5	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. roundyi</i>	Arenito	0,2	539,8	540	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. roundyi</i>	Calclutito	1,5	540	541,5	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>Atokaensis</i>	Arenito	0,2	539,8	540	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>Atokaensis</i>	Calclutito	1,5	540	541,5	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. bassleri</i>	Arenito	0,2	539,8	540	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	1,5	540	541,5	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	0,2	539,8	540	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. symmetricus</i>	Calclutito	1,5	540	541,5	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. bothrops</i>	Calclutito	1,5	540	541,5	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. medadulitimus</i>	Arenito	0,2	539,8	540	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. medadulitimus</i>	Calclutito	1,5	540	541,5	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	0,2	539,8	540	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. symmetricus</i>	Calclutito	1,5	540	541,5	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. sp</i>	Arenito	0,2	539,8	540	Itaituba
2CAST-001-AM	6	CX 1-1	237851.70	9436681.20	<i>N. sp</i>	Calclutito	1,5	540	541,5	Itaituba
1RX-006-AM	10	CX 2-2	375146.60	9517534.70	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	1,3	1588,7	1590	Nova Olinda
1RX-006-AM	10	CX 2-2	375146.60	9517534.70	<i>N. bassleri</i>	Siltito	0,4	1590	1590,4	Nova Olinda
1RX-006-AM	10	CX 2-2	375146.60	9517534.70	<i>N. bothrops</i>	Folhelho	1,3	1588,7	1590	Nova Olinda
1RX-006-AM	10	CX 2-2	375146.60	9517534.70	<i>N. bothrops</i>	Siltito	0,4	1590	1590,4	Nova Olinda
1RX-006-AM	10	CX 2-2	375146.60	9517534.70	<i>N. asymmetricus</i>	Folhelho	1,3	1588,7	1590	Nova Olinda
1RX-006-AM	10	CX 2-2	375146.60	9517534.70	<i>N. asymmetricus</i>	Siltito	0,4	1590	1590,4	Nova Olinda
1RX-006-AM	16	CX 2-3	375146.60	9517534.70	<i>N. atokaensis</i>	Calcarenito	2	1689	1691	Itaituba
1RX-006-AM	16	CX 2-3	375146.60	9517534.70	<i>N. atokaensis</i>	Arenito	2	1691	1693	Itaituba
1RX-006-AM	16	CX 2-3	375146.60	9517534.70	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	2	1689	1691	Itaituba
1RX-006-AM	16	CX 2-3	375146.60	9517534.70	<i>N. asymmetricus</i>	Arenito	2	1691	1693	Itaituba
1RX-006-AM	24	CX 1-2	375146.60	9517534.70	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	1	1947	1948	Monte Alegre
1RX-006-AM	24	CX 1-2	375146.60	9517534.70	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	2	1948	1950	Monte Alegre
1RX-006-AM	24	CX 1-2	375146.60	9517534.70	<i>N. asymmetricus</i>	Calcarenito	1	1947	1948	Monte Alegre
1RX-006-AM	24	CX 1-2	375146.60	9517534.70	<i>N. asymmetricus</i>	Arenito	2	1948	1950	Monte Alegre
1PB-001-PA	8	CX 5-5	634257.90	9544277.80	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	4	204,9	208,9	Monte Alegre
1PB-001-PA	8	CX 5-5	634257.90	9544277.80	<i>N. symmetricus</i>	Calcarenito	1,5	208,9	210,4	Monte Alegre
1PB-001-PA	8	CX 5-5	634257.90	9544277.80	<i>N. symmetricus</i>	Arenito	0,5	210,4	210,9	Monte Alegre
2CPST-002-AM	2	CX 4-6	677394.60	9587512.40	<i>N. roundyi</i>	Arenito	2,2	631,8	634	Itaituba
2CPST-002-AM	2	CX 4-6	677394.60	9587512.40	<i>N. roundyi</i>	Calcarenito	2	634	636	Itaituba
2CPST-002-AM	2	CX 4-6	677394.60	9587512.40	<i>N. roundyi</i>	Folhelho	1,8	636	637,8	Itaituba
2CPST-002-AM	2	CX 4-6	677394.60	9587512.40	<i>N. sp</i>	Arenito	2,2	631,8	634	Itaituba
2CPST-002-AM	2	CX 4-6	677394.60	9587512.40	<i>N. sp</i>	Calcarenito	2	634	636	Itaituba
2CPST-002-AM	2	CX 4-6	677394.60	9587512.40	<i>N. sp</i>	Folhelho	1,8	636	637,8	Itaituba
2CPST-002-AM	22	CX 1-4	677394.60	9587512.40	<i>N. roundyi</i>	Calcarenito	4,6	801,8	806,4	Itaituba
1MD-001-AM	1	-	182212.20	9554449.60	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	-	2050	-	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	2	1420	1422	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	8	1422	1430	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. bassleri</i>	Anidrita	6	1430	1436	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	4	1436	1440	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	10	1440	1450	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. roundyi</i>	Anidrita	2	1420	1422	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. roundyi</i>	Calcarenito	8	1422	1430	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. roundyi</i>	Anidrita	6	1430	1436	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. roundyi</i>	Calclutito	4	1436	1440	Itaituba
1MI-002-AM	-	-	191160.30	9603974.10	<i>N. roundyi</i>	Folhelho	10	1440	1450	Itaituba
1UI-002-AM	2	-	488418.20	9523350.10	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	6	237	243	Itaituba
1UI-002-AM	2	-	488418.20	9523350.10	<i>N. bassleri</i>	Arenito	5	243	248	Itaituba
1UI-002-AM	2	-	488418.20	9523350.10	<i>N. bassleri</i>	Calclutito	3	248	251	Itaituba
1UI-002-AM	2	-	488418.20	9523350.10	<i>N. bassleri</i>	Arenito	6	251	257	Itaituba
1UI-002-AM	2	-	488418.20	9523350.10	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	2	257	259	Itaituba
1UI-002-AM	2	-	488418.20	9523350.10	<i>N. bassleri</i>	Folhelho	2	259	261	Itaituba
1UI-002-AM	2	-	488418.20	9523350.10	<i>N. bassleri</i>	Calcarenito	3	261	264	Itaituba
1UI-002-AM	2	-	488418.20	9523350.10	<i>N. bassleri</i>	arenito	4	264	268	Itaituba
1UI-002-AM	2	-	488418.20	9523350.10	<i>N. roundyi</i>	Arenito	-	268	-	Itaituba
2ICST-001-AM	-	-	177486.40	9482798.30	<i>N. bassleri</i>	Arenito	-	850	-	Nova Olinda
2ICST-001-AM	-	-	177486.40	9482798.30	<i>N. roundyi</i>	Arenito	-	850	-	Nova Olinda

Tabela 1) Continuação

Conodontes				
Especie	Localização	Poço/Afloramento	Quantidade	Autor
<i>N. bothrops</i>	Calha Central	1-FZ-01-AM	2	Cardoso et al., 2017
		1-RX-06-AM	1	Scomazzon et al., 2016
	Plataforma Sul	TAP TV	2	Nascimento et al., 2010
<i>N. medadulitimus</i>	Plataforma Norte	QUARRY II	3	Nascimento et al., 2010
		1-AM-02-AM	6	Scomazzon et al., 2016
		1-FZ-1-AM	1	Scomazzon et al., 2016
	Calha Central	1-NO-01-AM	2	Scomazzon et al., 2016
		1-UA-01-AM	1	Scomazzon et al., 2016
	Plataforma Sul	2-CAST-01-AM	2	Scomazzon et al., 2016
		TAP TV	10	Nascimento et al., 2010
		TAP CX	2	Nascimento et al., 2010
		QUARRY I	3	Nascimento et al., 2010
		QUARRY II	31	Nascimento et al., 2010
<i>N. roundyi</i>	Plataforma Norte	2-PCST-01-AM	1	Scomazzon et al., 2016
		1-AM-02-AM	2	Lemos & Medeiros 1996
		2-PEST-01-AM	3	Lemos & Medeiros 1996
	Calha Central	1-FZ-01-AM	2	Scomazzon et al., 2016
		1-UA-1-AM	1	Lemos & Medeiros 1996
	Plataforma Sul	2-CAST-01-AM	2	Scomazzon et al., 2016
			2	Lemos & Medeiros 1996
		2-CPST-02-AM	2	Scomazzon et al., 2016
		1-UI-2-AM	1	Lemos & Medeiros 1996
		TAP TV	1	Nascimento et al., 2010
<i>N. atokaensis</i>	Plataforma Norte	QUARRY II	8	Scomazzon et al., 2016
			23	Nascimento et al., 2010
	Calha central	2-PE-02-AM	4	Scomazzon et al., 2016
		1-FZ-01-AM	18	Scomazzon et al., 2016
	Plataforma Sul	1-RX-06-AM	1	Scomazzon et al., 2016
		2-CAST-01-AM	4	Scomazzon et al., 2016
		TAP TV	4	Nascimento et al., 2010
		TAP CX	4	Nascimento et al., 2010
		QUARRY II	18	Nascimento et al., 2010
		2-MNST-01-AM	2	Scomazzon et al., 2016
<i>N. bassleri</i>	Plataforma Norte	1-AM-02-AM	7	Lemos & Medeiros 1996
		1-AM-07-AM	25	Lemos & Medeiros 1996
		1-AM-07-AM	1	Cardoso et al., 2017
		1-AM-09-AM	7	Lemos & Medeiros 1996
		1-MI-2-AM	9	Lemos & Medeiros 1996
		2-PE-2-AM	5	Lemos & Medeiros 1996
		1-FZ-01-AM	1	Scomazzon et al., 2016
	Calha Central	9-FZ-02-AM	7	Scomazzon et al., 2016
		FZ-28	1	Scomazzon et al., 2016
		1-NO-01-AM	5	Scomazzon et al., 2016
		1-UA-1-AM	4	Lemos & Medeiros 1996
		1-RX-06-AM	2	Scomazzon et al., 2016
	Plataforma Sul	2-CAST-01-AM	1	Cardoso et al., 2017
			52	Lemos & Medeiros 1996
		1-UI-02-AM	6	Lemos & Medeiros 1996
		TAP TV	1	Nascimento et al., 2010
		TAP CX	3	Nascimento et al., 2010
<i>N. Symmetricus</i>	Plataforma Norte	QUARRY II	4	Scomazzon et al., 2016
			3	Nascimento et al., 2010
		1-AM-01-AM	2	Scomazzon et al., 2016
		1-AM-02-AM	16	Lemos & Medeiros 1996
		1-AM-05-AM	2	Lemos & Medeiros 1996
		1-AM-07-AM	12	Lemos & Medeiros 1996
		1-AM-09-AM	15	Lemos & Medeiros 1996
	Calha Central	2-PE-02-AM	1	Lemos & Medeiros 1996
		1-MI-02-AM	6	Lemos & Medeiros 1996
	Plataforma Sul	2-PCST-01-AM	2	Scomazzon et al., 2016
		1-UA-01-AM	2	Scomazzon et al., 2016
1-RX-06-AM		4	Cardoso et al., 2017	
		1	Scomazzon et al., 2016	
Plataforma Sul	TAP CX	5	Scomazzon et al., 2016	
	2-CAST-01-AM	27	Lemos & Medeiros 1996	
	1-PB-01-PA	1	Scomazzon et al., 2016	

Tabela 2) Ocorrências das espécies de Neognathodus, localização (poço/afloramento), quantidades e publicação.

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

**ZONEAMENTO BIOESTRATIGRÁFICO E ANÁLISE
PALEOAMBIENTAL DO GRUPO TAPAJÓS, PENNSILVANIANO INFERIOR A
MÉDIO DA BACIA DO AMAZONAS, COM BASE NO GÊNERO
NEOGNATHODUS**

Área de Concentração: Paleontologia

Autor: **Andrés Felipe Rojas Mantilla**

Orientadora: Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon

Examinadora: Dra. Geise de Santana dos Anjos Zerfass

Data: 07/02/2022

Conceito: A

PARECER

A dissertação em análise apresenta um trabalho original o qual oferece significativa contribuição ao conhecimento da Bacia do Amazonas. O tema é relevante e o candidato se mostrou capaz de adquirir dados, transformá-los em informações e interpretar as informações a fim de oferecer respostas coerentes.

O candidato realizou uma ampla revisão bibliográfica, contemplando tanto trabalhos clássicos quanto bibliografia atualizada sobre o tema. O candidato também demonstra conhecimento do tema ao desenvolver um minucioso trabalho de análise sistemática das espécies e também ao desenvolver argumentos com base nos dados adquiridos e em dados prévios compilados da literatura.

Em relação à estrutura da dissertação, destaco o encadeamento de ideias com os parágrafos, os tópicos e os capítulos dispostos em uma sequência lógica. É válido mencionar a excelente qualidade das figuras. Entretanto, é necessário assinalar que o candidato precisa desenvolver melhor a escrita em português e verificar com cuidado o significado de termos, especialmente os qualificativos. No texto estão apontados diversos exemplos de usos imprecisos ou equivocados de termos (ex.: utilizar os termos “espécies superiores”, “formas basais” para se referir à distribuição temporal das espécies). O texto apresenta problemas de clareza em vários trechos, de modo que se recomenda uma revisão. Embora o entendimento do texto como um todo não seja prejudicado, a precisão e a objetividade do texto científico são mandatórios.

Por fim, gostaria de sugerir enfaticamente que o autor verifique o estado de preservação dos espécimes mais antigos encontrados juntamente com formas mais jovens no limite entre as formações Monte Alegre e Itaituba e comparar com a preservação das mesmas espécies (as mais antigas) encontradas nos estratos mais basais das seções estudadas. Como o autor sugere que essa mistura de elementos de diferentes idades pode caracterizar um hiato temporal, vale investigar a possibilidade de retrabalhamento.

Assinatura:

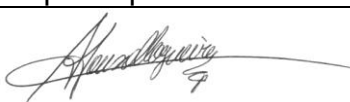
Geise de Santomp dos S. L. J. J. J.

Data:

07/02/2022.

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese: ZONEAMENTO BIOESTRATIGRÁFICO E ANÁLISE PALEOAMBIENTAL DO GRUPO TAPAJÓS, PENNSILVANIANO INFERIOR A MÉDIO DA BACIA DO AMAZONAS, COM BASE NO GÊNERO NEOGNATHODUS
Área de Concentração: Paleontologia
Autor: Andrés Felipe Rojas Mantilla
Orientadora: Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon
Examinador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira
Data: 17/02/2022
Conceito: A
<p>Após criteriosa análise do exemplar da dissertação de mestrado do estudante Andrés Mantilla, sob a orientação da Prof. Dr. Ana Karina Scomazzon, considero a mesma APROVADA e com conceito excelente. A dissertação foi feita na forma de um artigo submetido em periódico científico internacional, Qualis-CAPES A2.</p> <p>Destaco a qualidade dos dados taxonômicos baseados em conodontes que subsidiaram o tema principal a bioestratigrafia de depósitos devoniano-carboníferos. Tenho várias correções em relação ao título, resumo, abstract e corpo da dissertação. Considero que são sugestões na intenção de colaborar com a melhoria da mesma e principalmente questionamentos, desafios ao Andrés a caminhar rumo a sua independência intelectual como pesquisador na área de Geociências. As sugestões principais estão no arquivo em pdf da dissertação, bem como estou encaminhado arquivo em separado do Abstract corrigido. Mas uma vez agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS pelo convite de participar desta excelente contribuição para a Amazônia.</p>
Assinatura:  Data: 17/02/2022
Ciente do Orientador: Ciente do Aluno:

Córdoba, Argentina, 25 de enero de 2022

Profa. Dra. María de Fátima Bitencourt
Coordinadora
Programa de Posgrado en Geociencias
Instituto de Geociencias
UFRGS
S.../...D

De mi mayor consideración:

Tengo el agrado de dirigirme a Usted con el propósito de expresar mis consideraciones acerca del trabajo de tesis de maestría del Sr. Andrés Felipe Rojas Mantilla, dirigido por la Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon, en calidad de miembro de la comisión examinadora.

La tesis de 155 páginas se titula: "Zoneamento Bioestratigráfico e Análise Paleambiental do Grupo Tapajós, Pensilvaniano Inferior a Médio da Bacia do Amazonas, com Base no Gênero *Neognathodus*", y consta de una serie apartados, consistentes con la temática y organizados en una secuencia lógica desde la introducción y el marco geológico, la metodología y descripción estratigráfica, a la taxonomía de conodontes, el análisis bioestratigráfico e interpretaciones paleoambientales. El trabajo incluye diversas figuras para cada uno de los capítulos como complementos necesarios del texto y dos tablas anexas con los datos litoestratigráficos y de conodontes de cada uno de los 18 pozos y muestras analizadas de las formaciones marinas del Grupo Tapajós. Cabe destacar que el texto incluye un apartado sobre el estado del arte en el estudio de conodontes, así como los antecedentes bibliográficos sobre la cuenca del Amazonas. Se definen cuatro biozonas, tres de intervalo y una de rangos, caracterizadas por especies del género *Neognathodus*, cuyas definiciones se complementan con la distribución estratigráfica y la correlación a escala intercontinental (específicamente para cada intervalo bioestratigráfico). El último apartado de los resultados corresponde al análisis paleoambiental, concluyéndose que las especies del género *Neognathodus* habrían tenido un hábito de vida nerítico, en aguas cálidas y oxigenadas, de ambientes de variada energía y profundidad para el intervalo pensilvaniano estudiado.

El desarrollo del trabajo es coherente en términos teóricos y los resultados alcanzados están justificados por la base de datos analizada, a partir de una importante colección de conodontes, cumpliéndose con los objetivos propuestos. Finalmente, el trabajo integra la bibliografía citada, incorporando citas históricas sobre el desarrollo de estudios geológicos en la cuenca del Amazonas y las formaciones analizadas, así como sobre la taxonomía de conodontes y la correlación estratigráfica, con las actualizaciones correspondientes.

Considero que el trabajo realizado cumple con las condiciones exigidas para su defensa como tesis de maestría, representando una contribución importante para el avance del conocimiento bioestratigráfico y paleoambiental de la cuenca pensilvaniana del Amazonas. Asimismo, es dable destacar el artículo adjunto presentado a *Marine Micropaleontology* sobre el género *Neognathodus* y los resultados de este estudio, revelando una actitud proactiva del estudiante, todo lo cual meceré, desde mi punto de vista, un especial reconocimiento y calificación A (Excelente).

Sin otro particular, le saluda muy atentamente,



Prof. Dr. Guillermo L. Albanesi

Dr. Guillermo L. Albanesi
CICTERRA (CONICET-UNC)
Museo de Paleontología, CIGEA
FCEFYN, Universidad Nacional de Córdoba
5000 Córdoba
ARGENTINA
Tel.: 54-351-5353800, int. 30207
E-mail: guillermo.albanesi@unc.edu.ar