

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

**CONODONTES E A CRONOESTRATIGRAFIA DA BASE  
DA SEÇÃO PENNSILVÂNICA, NA REGIÃO DE  
ITAITUBA, PORÇÃO SUL DA BACIA DO AMAZONAS,  
BRASIL**

**SARA NASCIMENTO**

ORIENTADORA - Dr<sup>a</sup>. Valesca Brasil Lemos

CO-ORIENTADORA: Dr<sup>a</sup>. Ana Karina Scomazzon

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr<sup>a</sup>. Tânia Lindner Dutra – Instituto de Geologia, UNISINOS

Prof. Dr<sup>a</sup>. Karin Goldberg – Instituto de Geociências, UFRGS

Prof. Dr<sup>a</sup>. Deusana Machado – Departamento de Ciências Naturais, UNIRIO

Tese de Doutorado apresentada como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Doutor em Geociências.

Porto Alegre – 2008

Nascimento, Sara

Conodontes e a cronoestratigrafia da base da seção pensilvaniana, na Região de Itaituba, Porção Sul da Bacia do Amazonas, Brasil. / Sara Nascimento. – Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2008.

[246 f.]. il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 2008.

1. Paleotologia. 2. Conodontes. 3. Bioestratigrafia. 4. Formação Itaituba. 5. Bacia do Amazonas, Brasil. I. Título.

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun CRB 10/1113

*"Se pensas que não podemos salvar a todos, e que  
diferença alguém pode fazer?  
Precisas conhecer a alegria daquele que é salvo.  
Lamente pelos que não podemos salvar.  
Em louvor à sua existência, não deixe que sua  
perda seja em vão."*

*(Jim Willis)*

*As minhas colegas e amigas  
Ana Karina, Luciane, Valesca e Cris.  
Muito Obrigada!*

## **AGRADECIMENTOS**

---

---

Movida por um imenso sentimento de gratidão ao ver concluído esse trabalho, quero convidar as pessoas que contribuíram, auxiliaram, acreditaram e alegraram-se do meu progresso a dividirem comigo esse êxito coletivo.

Quero agradecer muito a minha mãe – OBRIGADA MÃE – eu te amo.

A minha orientadora Valesca pelos vários puxões de orelha, “quase sempre” merecidos, he he he! Muito obrigada Valesca.

A minha Co-orientadora e IRMÃ Ana Karina Scomazzon, a principal responsável por eu estar aqui. Foi em uma palestra da UNISINOS quando eu ainda estava na graduação. Desde então a vida dela se transformou num caos. Obrigadão Kaka.

A minha outra IRMÃ Luciane Profs Moutinho pela paciência e dedicação. Pelas cansativas revisões do meu trabalho, você é felomenal. Obrigadão Lu.

A providência, uma força oculta que entrou em minha vida já ha algum tempo que sempre me ajudou, me livrando dos perigos, fazendo com que eu sempre escolhesse o melhor caminho e sempre me salvando no último segundo. Obrigada providência.

Ao meu Deus. Deus, sua filha favorita agradece! De novo

A minha colega Cristiane Pakulski, por toda a incomodação que eu já causei e ainda vou causar e por ser uma parceira nota 10. Obrigada Cris.

Ao meu sobrinho Wagner (*in memoriam*).

Aos meus amigos Valesca, Ricardo e Aniele pelo apoio financeiro.

Aos meus colegas de sala e amigos Cassiane (Leão da Seda) e Marcelo (Toni) pelo coleguismo.

Aos meus amigos e colegas do Pós Sérgio Cabreira e Rodrigo, Cris, Ota, Vagner, Larissa, Núscia, Tina, Vladimir, Guga, Gringa, Cristianini e Chefe.

Ao meu Amigo Roberto, meu protetor e a Letícia por estarem sempre atentos e dispostos a ajudar. Ao meu querido gnomu Elen.. Obrigada pessoal.

Ao Nilo Matsuda, pela ajuda nos trabalhos de campo e por seu interesse em ajudar sempre.

À professora Tânia Dutra que sempre serviu de referência para mim como profissional e como pessoa, e também por ser a primeira pessoa que eu conheci dentro da paleontologia.

À professora Renata Guimarães Netto, minha orientadora da graduação, que salvou minha vida quando me ofereceu uma bolsa de iniciação científica e por ter sido tão legal comigo.

Ao CNPq pelo suporte financeiro e a UFRGS por ter se tornado minha casa.

A minha amiga e quase irmã Raquel Elisa Lermen por ter descoberto os conodontes antes de mim durante uma palestra e me incentivar a fazer mestrado.

À Veleida e a Renata, por tantas idas e vindas corrigindo e orientando minhas referências bibliográficas.

Aos meus camaradas de luta Cris, Larissa, Bianca, Juan, Joana, Gisele e Giane pelos maravilhosos sábados de alegria.

Às minhas meninas Indy, Sula, Lily, Kelly e ao meu menino Pato.

Ao Paçoca pela ajuda com as referencias bibliográficas.

A toda a gurizada do Campus do Vale – Leleca, Sophia, Alpha, Niki, MEV, Flor, Benjamim, Freitas, Packstone, Ursa, Malu, Bionda, Cabeluda, Getúlio e Thundra.

Ao RU pela melhor comida do mundo

Aos cobradores do T10, Viviane e Everaldo pela amizade e simpatia.

Ao professor Ricardo Frank por me salvar da falência. Obrigada professor Ricardo.

## RESUMO

---

---

O presente estudo integra informações biocronoestratigráficas provenientes de estratos sedimentares de dois afloramentos a beira do Rio Tapajós e três pedreiras de calcário, localizados no sul do Estado do Pará. Estes cinco afloramentos compõem uma sucessão cronoestratigráfica – denominada seção do Tapajós. Os depósitos sedimentares desta seção aqui estudada são arenitos fluvio-eólicos, representados na porção superior da Formação Monte Alegre e carbonatos marinhos, nos estratos basais da Formação Itaituba. Os dados bioestratigráficos foram obtidos através da análise de microfósseis conodontes e as informações cronoestratigráficas, refinadas com auxílio de palinomorfos, configurando uma idade neomorrowana – mesoatokana para a seção do Tapajós.

A associação de conodontes inclui elementos de *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus bothrops*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*, *Rhachistognathus muricatus*, *Idioproniodus* sp., *Ellisonia latilaminata*, *E. conflexa*, *Ubinates advena* e *Gondolella* sp. Com exceção de *Rhachistognathus muricatus*, espécie típica do Morrowano, encontrada nos estratos mais superiores da Formação Monte Alegre e basais da Formação Itaituba, os demais elementos da associação são tipicamente atokanos.

São aqui propostas duas zonas de amplitude do táxon *Rhachistognathus muricatus* e *Diplognathodus orphanus* e uma cenozona *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultimus* para a seção analisada.

Os palinomorfos *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaeotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* e *Meristocarpus* sp. B são importantes para a bioestratigrafia e posicionam a porção superior da seção Tapajós – estratos da Formação Itaituba, no Atokano médio, corroborando com a idade atokana obtida pelos conodontes *Idiognathodus incurvus* e *Diplognathodus orphanus*.

Nesta porção superior da seção do Tapajós é assinalada também a presença de um intervalo de sedimentação continental, sendo observada a presença de megásporos atribuídos ao Filo Lycophyta.

Novos gêneros de conodontes, *Ellisonia*, *Ubinates* e *Gondolella* são registrados pela primeira vez na Bacia do Amazonas. Esses gêneros são importantes indicadores paleoecológicos e auxiliam nos trabalhos de correlação com a América do Norte, em especial dos estratos pensilvanianos do *Midcontinent*.

Os conodontes são encontrados principalmente nos *packstones*, *wackestones* e *mudstones*, e apresentam um Índice de Alteração de Cor que varia entre 1,5 e 2,0. Não existindo homogeneidade nas feições microestruturais. A fauna associada inclui braquiópodes, equinodermados, briozoários, corais, gastrópodes, foraminíferos, esponjas, ostracodes, trilobitas, escolecodontes, bivalvos e fragmentos de peixe, os quais auxiliam também na identificação das diferentes fácies de infra e intermaré estabelecidas.

## ABSTRACT

---

This study integrate biochronostratigraphic data from sedimentary strata of two outcrops along the Tapajós river and three limestone quarries, located in the southern State of Pará. These five outcrops comprise a chronostratigraphic succession - named Tapajós section. The sedimentary deposits of the section herein studied contain fluvio-eolic sandstones represented in the upper portion of Monte Alegre Formation and shallow marine limestones, in the basal strata of Itaituba Formation. The biostratigraphic data were obtained through analysis of microfossils conodonts and chronostratigraphic information refined with palynomorphs support, setting a late Morrowan – middle Atokan age to the Tapajós section.

The conodont assemblage includes *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus bothrops*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*, *Rhachistognathus muricatus*, *Idioproniodus* sp., *Ellisonia latilaminata*, *E. conflexa*, *Ubinates advena* and *Gondolella* sp. Despite the occurrence of *Rhachistognathus muricatus*, a Morrowan index, found from the upper Monte Alegre through lower level of Itaituba formation, all other elements are typical of Atokan age.

Two taxon range zones are herein proposed: *Rhachistognathus muricatus* and *Diplognathodus orphanus*, and one assemblage zone: *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultimus*, to the analyzed section.

Palynomorphs *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaeotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* and *Meristocarpus* sp. B are important biostratigraphic indexes, regarding the upper part of Tapajós section – strata of Itaituba Formation, to middle Atokan, corroborating with Atokan age obtained by conodonts *Idiognathodus incurvus* and *Diplognathodus orphanus*.

In this upper part of the Tapajós section is also assigned an interval of continental sedimentation, being regarded the occurrence of megaspores of Lycopphyta phyla.



New genera of conodonts such as *Ellisonia*, *Ubinates* and *Gondolella* are registered for the first time in the Amazonas Basin. These genera are important paleoenvironmental indicators and helps in correlation with North America, especially Midcontinent Pennsylvanian strata.

The conodonts are mainly found in packstones, wackestones and mudstones, and have a Color Alteration Index – CAI which varies between 1.5 and 2.0, with no uniformity in the microstructural features. The associated fauna includes brachiopods, echinoderms, bryozoans, corals, gastropods, foraminifers, sponges, ostracods, trilobites, scolecodonts, bivalves and fragments of fish, which also support the different identified facies of shallow marine deposits.

---

**LISTA DE FIGURAS**

---

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização da Bacia do Amazonas .....	19
<b>Figura 2.</b> Mapa Geológico da Bacia do Amazonas .....	19
<b>Figura 2.1.</b> Mapa Geológico de parte da Bacia do Amazonas, com detalhe da região do Rio Tapajós.....	20
<b>Figura 3.</b> Destacam-se os afloramentos de rochas sedimentares carboníferas existentes na porção sul da bacia.....	21
<b>Figura 4.</b> Carta cronoestratigráfica da Bacia do Amazonas .....	24
<b>Figura 5.</b> Reformulação da carta cronoestratigráfica do Grupo Tapajós, Bacia do Amazonas, com base em palinomorfos .....	31
<b>Figura 6.</b> O animal conodonte .....	33
<b>Figura 7.</b> Impressão fóssil de um espécime de conodonte evidenciando o tamanho corporal reduzido e a forma corporal semelhante a uma enguia .....	35
<b>Figura 8.</b> Impressão fóssil de um espécime de conodonte evidenciando os olhos proporcionalmente grandes .....	36
<b>Figura 9.</b> Impressão fóssil de um espécime de conodonte evidenciando a porção posterior (região caudal) e a notocorda e miômeros.....	36
<b>Figura 10.</b> Índice de Alteração de Cor – IAC.....	39
<b>Figura 11.</b> Índice de Alteração de Cor – IAC.....	40
<b>Figura 12.</b> Paleogeografia do Gondwana no Carbonífero Superior .....	41
<b>Figura 13.</b> Reconstrução paleogeográfica da América do Norte no Pensilvaniano .....	43
<b>Figura 14.</b> Biozonas de conodontes para o Morrowano da América do Norte .....	44
<b>Figura 15.</b> Biozonas de conodontes definidas para o Carbonífero da Bacia do Amazonas .....	46
<b>Figura 16.</b> Conodontes da Formação Itaituba, Bacia do Amazonas.....	87
<b>Figura 17.</b> Modelo deposicional idealizado para o contexto de rampa carbonática e sua subdivisão em distintos domínios ambientais .....	91
<b>Figura 18.</b> Perfil de referência da sessão estudada e distribuição vertical das espécies de conodontes identificadas.....	106
<b>Figura 19.</b> Índice de Alteração de Cor – IAC e microestruturas externas dos conodontes obtidos na seção estudada.....	117
<b>Figura 20.</b> Microestruturas externas dos conodontes obtidos na seção estudada.....	119

- Figura 21.** Distribuição das associações faunísticas nos diferentes contextos ambientais existentes no perfil deposicional idealizado para a seção pensilvaniana aflorante na borda sul da Bacia do Amazonas.....121
- Figura 22.** Elementos faunísticos associados aos conodontes na sessão estudada.....123
- Figura 23.** Escolecodontes e restos de peixes obtidos na seção estudada .....124

---

*LISTA DE TABELAS*

---

<b>Tabela 1.</b> Distribuição das espécies e gêneros de conodontes encontrados nos afloramentos estudados e respectivas litologias .....	103
--	-----

---

**SUMÁRIO**

---

**CAPÍTULO 1**

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1. Estrutura da tese</b> .....	16
<b>1.2. Objetivos</b> .....	17
<b>1.3. Benefícios esperados</b> .....	18
<b>1.4. Estado da Arte</b> .....	18
<b>1.4.1. Localização da área estudada</b> .....	18
<b>1.4.2. Geologia da Área</b> .....	22
<b>1.4.3. Grupo Tapajós</b> .....	26
<b>1.4.3a. Formação Monte Alegre</b> .....	27
<b>1.4.3.b. Formação Itaituba</b> .....	27
<b>1.4.3.c. Formação Nova Olinda</b> .....	28
<b>1.4.3.d. Formação Andirá</b> .....	29
<b>1.4.4. Considerações sobre os Conodontes</b> .....	32
<b>1.4.4.a. Posição Filogenética</b> .....	34
<b>1.4.4.b. Importância dos Conodontes –Índice de Alteração de Cor – IAC</b> .....	37
<b>1.4.4.c. Importância dos Conodontes – Zoneamento Bioestratigráfico Mundial</b> .....	40
<b>1.4.4.d. Zonas de Conodontes da América do Norte</b> .....	42
<b>1.4.4.e. Morrowano da América do Norte</b> .....	43
<b>1.4.4.f. Atokano da América do Norte</b> .....	44
<b>1.4.4.g. Desmoinesiano da América do Norte</b> .....	45
<b>1.4.4.h. Zonas de Conodontes da Bacia do Amazonas</b> .....	45
<b>1.5. Metodologias aplicadas</b> .....	50
<b>1.5.1. Trabalho de campo</b> .....	50
<b>1.5.2. Preparação das amostras para conodontes</b> .....	50
<b>1.5.2.a. Métodos Mecânicos</b> .....	51
<b>1.5.2.b. Métodos Químicos</b> .....	51
<b>1.5.3. Triagem do Material</b> .....	52
<b>1.5.4. Fotomicrografias</b> .....	53
<b>1.5.4.a. Microscopia Eletrônica de Varredura</b> .....	53
<b>1.5.4.b. Microscopia Óptica</b> .....	53

<i>1.6. Análise Taxonômica</i> .....	53
<i>1.7. Destino dos Produtos Químicos Utilizados na Preparação</i> .....	54

## **CAPÍTULO 2**

<b>SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA</b> .....	55
<i>2.1. Considerações iniciais</i> .....	56
<i>2.2. Descrição Sistemática</i> .....	57

## **CAPÍTULO 3**

<b>ANÁLISE INTEGRADORA</b> .....	89
<i>3.1. Discussões</i> .....	90
<i>3.1.1. Sedimentação e variabilidade litológica durante o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas e distribuição dos conodontes no perfil deposicional estudado</i> .....	90
<i>3.1.2. Novas ocorrências de conodontes na Bacia do Amazonas</i> .....	107
<i>3.1.3. Considerações bioestratigráficas</i> .....	110
<i>3.1.4. IAC – Índice de Alteração de Cor</i> .....	113
<i>3.1.5. Fauna associada</i> .....	120
<i>3.2. Conclusões</i> .....	126
<i>3.3. Recomendações</i> .....	129

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	130
--------------------------	-----

<b>CAPÍTULO 4</b> – Artigo 1. FIRST OCCURRENCE OF <i>ELLISONIA</i> IN BRAZIL - ITAITUBA FORMATION, PENNSYLVANIAN OF THE AMAZONAS BASIN. Submetido à Revista Espanõla de Micropaleontologia .....	145
--	-----

<b>CAPÍTULO 5</b> – Artigo 2. CONODONT BIOSTRATIGRAPHY AND PALEOECOLOGY OF A LOWER PENNSYLVANIAN MARINE CALCAREOUS PROFILE - ITAITUBA FORMATION, SOUTHERN REGION OF AMAZONAS BASIN. Submetido à Revista Pesquisas em Geociências .....	161
--	-----

<b>CAPÍTULO 6</b> – Artigo 3. BIOCHRONOSTRATIGRAPHY (CONODONTS AND PALYNOLOGY) FROM THE ITAITUBA FORMATION, PENNSYLVANIAN OF THE AMAZONAS BASIN. Submetido à Revista Pesquisas em Geociências.....	185
--	-----

## **ANEXOS**

<i>Anexo A – Cartas de aceitação dos artigos desenvolvidos durante a tese .....</i>	207
<i>Anexo B - Artigos publicados em revistas científicas .....</i>	210
<i>Anexo C - Resumos expandidos publicados em anais de congressos.....</i>	231
<i>Anexo D - Resumos publicados em anais de congressos .....</i>	236
<i>Anexo E – Seção Tapajós Ampliada .....</i>	246

***CAPÍTULO 1***

***INTRODUÇÃO***



### ***1.1. Estrutura da tese***

Esta tese foi desenvolvida de acordo com as normas do Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS, na forma de artigos científicos. Assim, foram desenvolvidos três artigos da aluna como primeira autora. Além dos referidos artigos científicos, a estrutura da tese apresenta uma parte introdutória, composta pelos seguintes capítulos:

O capítulo 1 aborda os objetivos gerais e específicos deste trabalho, a localização da área de estudo, a caracterização geológica do Grupo Tapajós, uma breve síntese sobre os conodontes, sua importância e distribuição bioestratigráfica mundial. Apresenta, também, as metodologias empregadas desde a coleta das amostras, sua preparação para obtenção dos microfósseis conodontes e sua identificação taxonômica para utilização nos estudos bioestratigráficos.

O capítulo 2 trata da classificação sistemática dos conodontes.

O capítulo 3 consiste na análise integradora e apresenta, de forma condensada, os principais resultados obtidos nesta tese, discussões, conclusões e recomendações aos trabalhos futuros. Posteriormente estão listadas as referências bibliográficas.

O corpo principal do volume consiste nos capítulos 4, 5 e 6, que trazem os artigos científicos desenvolvidos durante a tese, sendo eles: Nascimento *et al.* A (no prelo) - First Occurrence of *Ellisonia* in Brazil - Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin, apresentado no capítulo 4. O gênero *Ellisonia* é bioestratigráfica e paleoecologicamente importante, sendo bom indicador de condições ambientais de águas marinhas rasas. Desta forma, o artigo trata da primeira ocorrência de *Ellisonia* no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, representada pelas espécies *Ellisonia latilaminata* e *Ellisonia conflexa*.

Nascimento *et al.* B (no prelo) - Conodont Biostratigraphy and Paleoecology of Lower Pennsylvanian Marine Calcareous Profile - Itaituba Formation, Southern Region of Amazonas Basin. Apresentado no capítulo 5, este artigo trata da associação de conodontes obtidos nos afloramentos da região sul da Bacia do Amazonas, incluindo dois pontos de coleta, as margens do Rio Tapajós, e três pedreiras de calcário exploradas pela indústria de cimento Caima. O trabalho discute as zonas de amplitude do táxon *Rhachistognathus muricatus* e *Diplognathodus orphanus* e a cenozona *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus*

*medadultimus* e sua importância na definição do limite Morrowano/Atokano para o perfil estudado.

Nascimento *et al.* C (no prelo) - Biochronostratigraphy (Conodonts and Palynology) from the Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin. Apresentado no capítulo 6, este artigo trata dos dados bioestratigráficos de conodontes e palinórfos recuperados dos estratos superiores de uma seção aflorante da Formação Itaituba, na borda sul da Bacia do Amazonas. As espécies *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaeotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* e *Meristocarpus* sp. B são importantes bioestratigraficamente, auxiliando no refinamento cronoestratigráfico e na correlação lateral dos depósitos analisados, corroborando com a idade atokana obtida pelos conodontes *Idiognathodus incurvus*, *Neognathodus atokaensis* e *Diplognathodus orphanus*.

Por fim, são apresentados os anexos, que contêm as cartas de aceitação dos artigos científicos desenvolvidos durante a tese, outros artigos nos quais a aluna é autora ou co-autora e os resumos publicados em eventos científicos durante o desenvolvimento da tese.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo desse trabalho foi o *refinamento bioestratigráfico de parte da seção marinha do Grupo Tapajós, formações Monte Alegre e Itaituba, aflorante na borda sul da Bacia do Amazonas, focalizando o limite Morrowano/Atokano, que caracteriza as primeiras ingressões marinhas do Pensilvaniano na Bacia do Amazonas.*

Para tanto, fez-se necessário:

1. Classificar os conodontes coletadas na seção analisada e identificar aquelas espécies que foram encontradas pela primeira vez na região. Posicioná-las bioestratigraficamente e correlacioná-las com as espécies descritas na América do Norte, quando pertinente;

2. Correlacionar as informações cronológicas obtidas através do estudo dos conodontes com aquelas obtidas pela palinologia para um refinamento cronoestratigráfico mais detalhado.

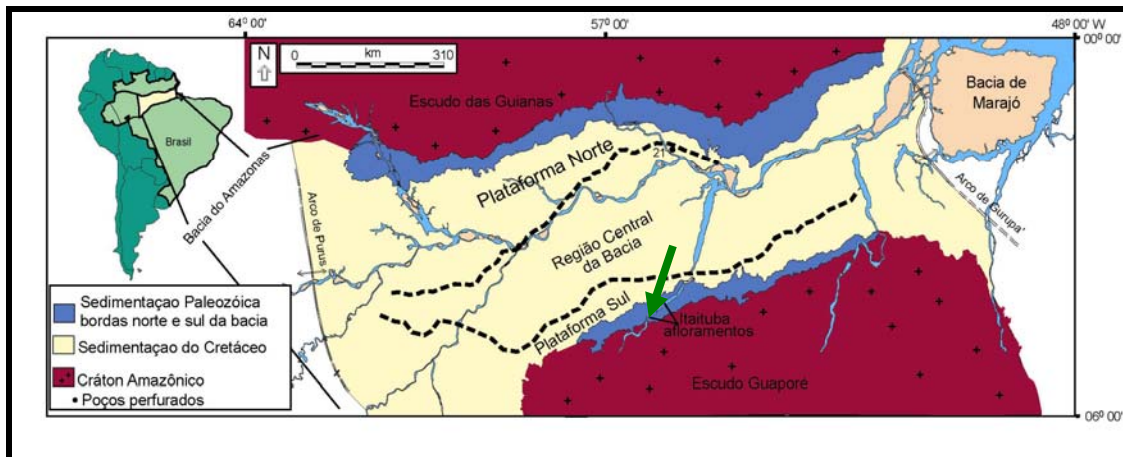
### ***1.3. Benefícios esperados***

Além do avanço nos conhecimentos estabelecidos para o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, a ser alcançado pelo refinamento biostratigráfico da seção marinha aflorante na borda sul da bacia, espera-se estabelecer uma integração entre os dados biocronoestratigráficos obtidos pelo estudo de conodontes e palinomorfos. Desta forma, além da contribuição no estabelecimento dos limites cronoestratigráficos relacionados à seção estudada, os dados obtidos poderão auxiliar na identificação e correlação lateral de horizontes estratigráficos potencialmente úteis na exploração de bens minerais, principalmente hidrocarbonetos.

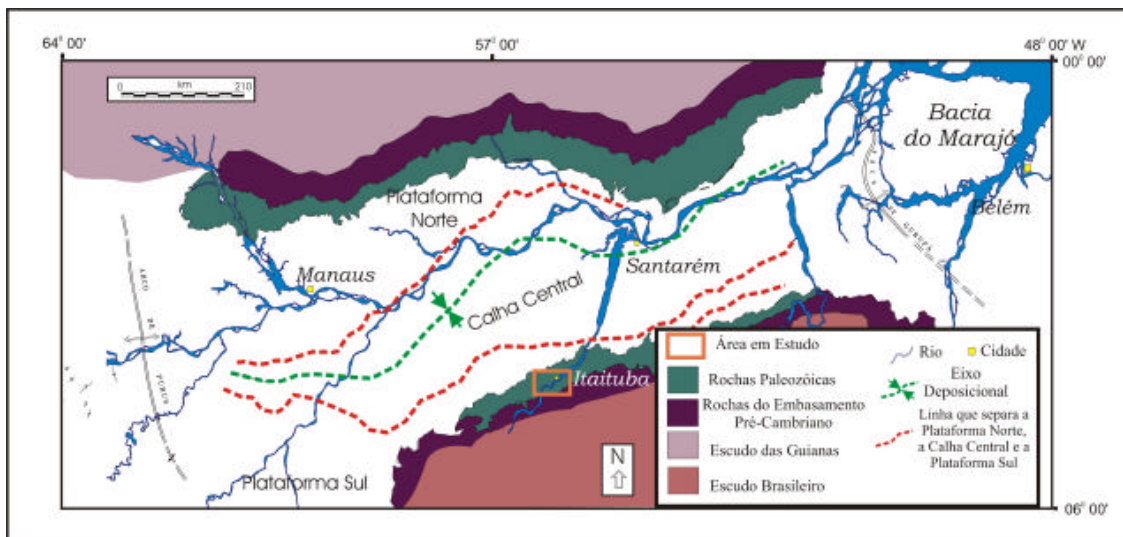
### ***1.4. Estado da Arte***

#### ***1.4.1. Localização da área estudada***

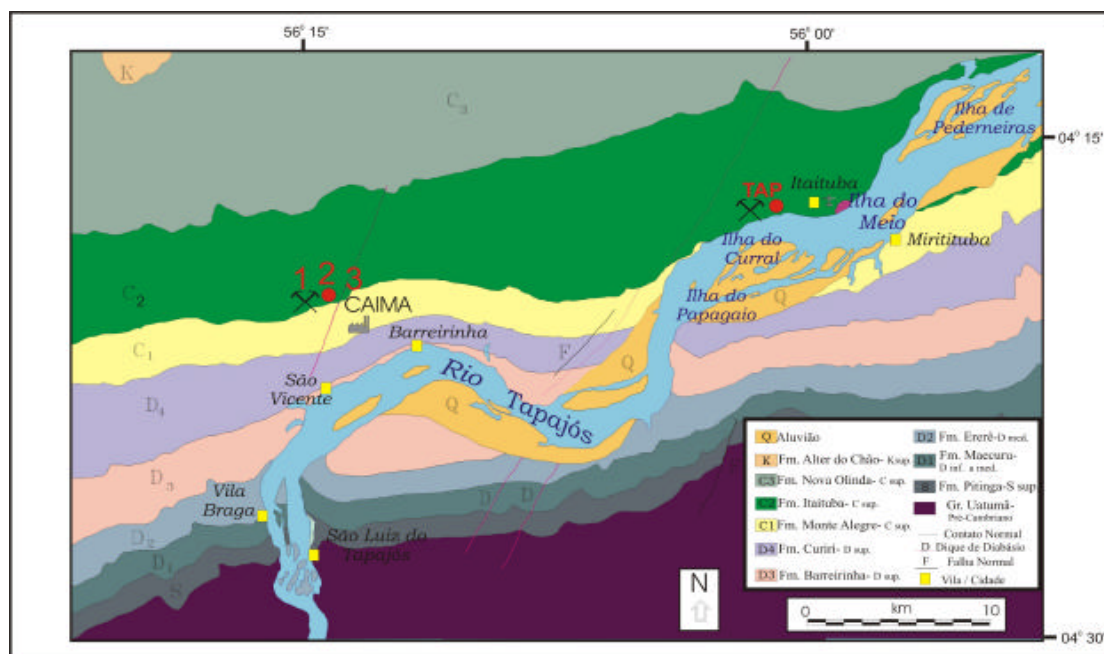
A área estudada localiza-se na região norte do Brasil, Estado do Pará, compreendendo parte da seção carbonífera aflorante na porção sul da Bacia do Amazonas (Fig. 1). Os pontos de coleta, (aqui denominados TAP), correspondem a afloramentos localizados às margens do Rio Tapajós, a aproximadamente 4 km da cidade de Itaituba e três pedreiras de calcário (aqui denominadas pedreiras 1, 2, 3 exploradas na época pela indústria de cimento CAIMA, atualmente ITACIMPASA, localizada a 40 quilômetros da cidade de Itaituba (Figs. 2 e 2.1).



**Figura 1.** Mapa de localização da Bacia do Amazonas. Na ampliação destaca-se em azul o afloramento de rochas sedimentares carboníferas existentes nesta bacia. A seta verde aponta a região estudada. (Modificado de Scomazzon, 2004).

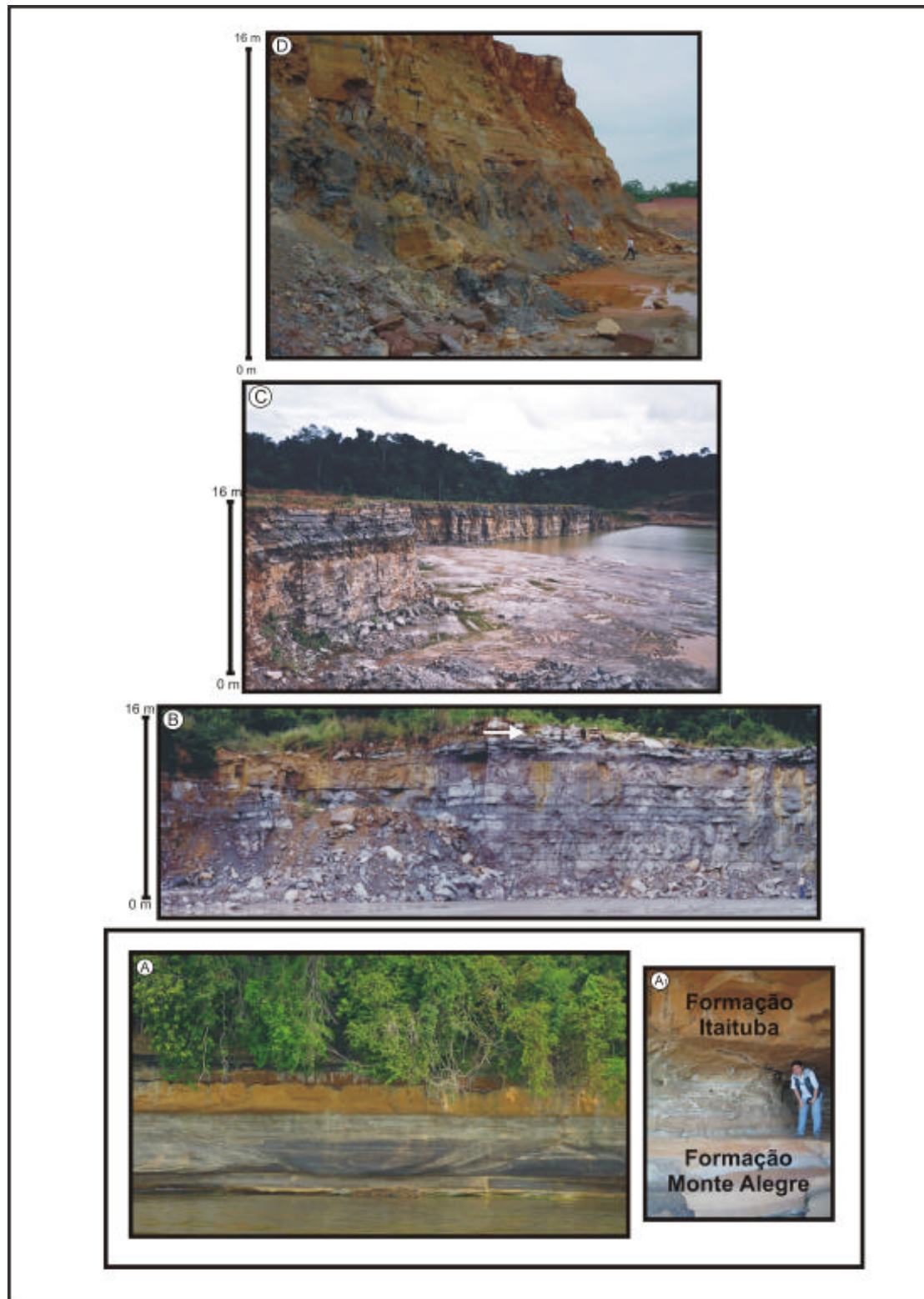


**Figura 2.** Mapa Geológico simplificado da Bacia do Amazonas mostrando a Plataforma Norte, a Calha Central e a Plataforma Sul, onde o quadrado laranja identifica a área estudada. (Modificado de Eiras *et al.*, 1998).



**Figura 2.1.** Mapa Geológico de parte da Bacia do Amazonas, com detalhe da região do Rio Tapajós. Os Pontos 1, 2, 3 e TAP correspondem aos afloramentos estudados. (Modificado de Eiras *et al.*, 1998).

Esta sucessão sedimentar compreende parte do Carbonífero Superior (Pensilvaniano inferior a médio) e seus depósitos são relacionados litoestratigraficamente à porção inferior da Formação Itaituba. Esta é composta predominantemente por carbonatos marinhos e evaporitos de planície de maré, incluindo delgados intervalos siliciclásticos (Fig. 3). Na sua porção basal ocorrem arenitos flúvio-deltáicos, que correspondem aos afloramentos à beira do Rio Tapajós e localizam-se estratigraficamente no limite entre as formações Monte Alegre e Itaituba (Matsuda, 2003) (Figs. 3A e 3A1). As pedreiras de calcário correspondem à porção mais jovem desta sucessão sendo posicionadas, através dos microfósseis conodontes, no andar Atokano (Scomazzon, 2004; Nascimento *et al.*, 2005) e cuja sedimentação, principalmente carbonática, reflete o predomínio de condições deposicionais marinhas durante sua formação (Moutinho, 2006) (Figs. 3B, 3C e 3D).



**Figura 3.** Destacam-se os afloramentos de rochas sedimentares carboníferas existentes na porção sul da bacia, os quais compõem a seção aqui estudada. A) Afloramento a margem do Rio Tapajós; A.1) Limite entre as formações Monte Alegre e Itaituba; B) Pedreira 1, C) Pedreira 2, D) Pedreira 3 (Modificado de Scmazzon, 2004 e Moutinho, 2006).

### 1.4.2. Geologia da Área

A Bacia do Amazonas, conforme Silva (1996), localiza-se no cráton sul-americano e abrange uma área de aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup>. Tem como limites o Escudo das Guianas ao Norte, o Escudo de Guaporé ao Sul, o Arco de Purus a Oeste, que a separa da Bacia do Solimões e o Arco de Gurupá a Leste, que a separa da Bacia do Marajó (Fig.1).

É uma bacia do tipo intracratônica, preenchida por rochas de origem sedimentar e hipoabissal (como diques de diabásio), cujo preenchimento vem ocorrendo desde o Pré-Cambriano ao Terciário, totalizando aproximadamente 6.000 m de espessura. Deste total, a sedimentação carbonífera-permiana contribui com mais da metade dos depósitos sedimentares da bacia.

As feições morfo-estruturais importantes da bacia correspondem a uma calha central mais subsidente, que ocupa a região mais profunda, no centro da bacia e duas áreas de plataforma, as plataformas norte e sul (Fig. 2), que são limitadas por zonas de falhas normais (Eiras *et al.*, 1998). A zona de afloramentos das rochas paleozóicas é mais larga e extensa na plataforma norte do que na plataforma sul da bacia, refletindo um maior basculamento para o sul durante a tectônica do Terciário. Na plataforma norte encontram-se as mais extensas exposições da seção pensilvaniana, porém, na plataforma sul, principalmente nas adjacências da cidade de Itaituba e ao longo do Rio Tapajós, estão localizados os afloramentos mais acessíveis e, conseqüentemente, mais estudados até o momento (Fig. 2.1).

A história geológica da Bacia do Amazonas teve início com a formação do supercontinente Gondwana, no final do Pré-Cambriano, através da movimentação e colisão das placas tectônicas compostas pelas atuais placas da América do Sul, África, Madagascar, Índia, Antártica e Austrália (Scotese & Mckerrow, 1990). Durante o Proterozóico superior e o início do Fanerozóico, o Gondwana sofreu diversos tectonismos concomitantes a eventos vulcânicos, plutônicos e metamórficos, os quais deram início a uma subsidência tectônica onde se encontrava o cráton Amazônico. Este evento de subsidência gerou o proto-rifteamento da Bacia do Amazonas, o qual é atualmente registrado pela sucessão sedimentar aluvial, fluvial e lacustre do Grupo Purus, de idade Neoproterozóica, que corresponde aos primeiros registros de rochas sedimentares da bacia (Milani & Zalán, 1998).

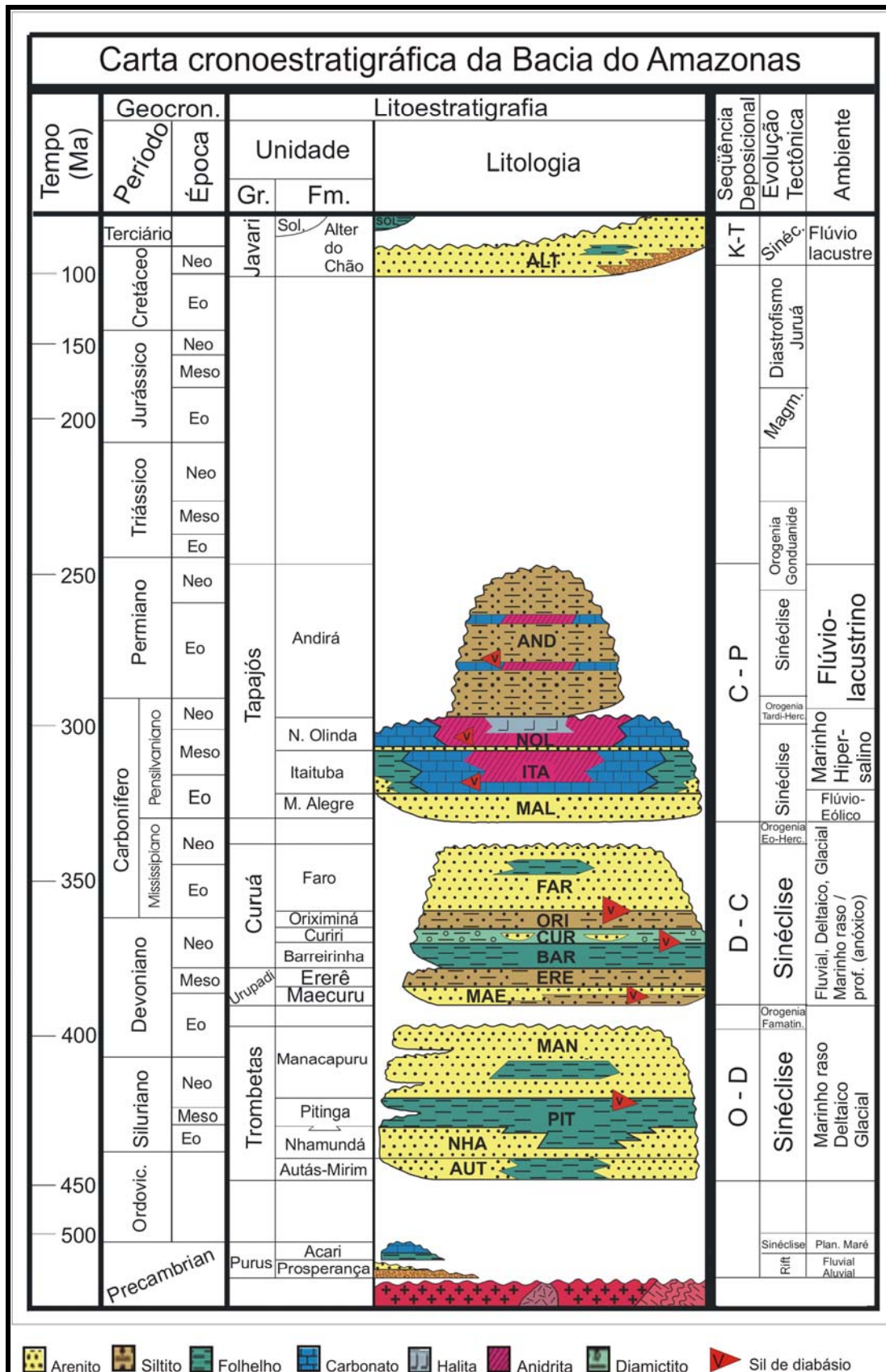
Durante o Cambriano-Ordoviciano (500 - 450 Ma), com o fim dos esforços tectônicos e o resfriamento das massas plutônicas, teve início a subsidência térmica regional e o desenvolvimento da sinéclise intracontinental da Bacia do Amazonas (Montalvão & Bezerra, 1980) com sedimentação em *onlap* a partir do Ordoviciano superior (Cunha *et al.*, 1994).

Até a década de 80 esta bacia era conhecida como Bacia do Alto, Médio e Baixo Amazonas, porém, com o desenvolvimento das pesquisas relativas a evolução tectônica e sedimentar de sua área de abrangência, foi observado que a Bacia do Alto Amazonas registra uma história geológica distinta da área denominada como Médio e Baixo Amazonas. Assim, a Bacia do Alto Amazonas hoje é denominada Bacia do Solimões e a região do Médio e Baixo Amazonas, que compartilha uma história geológica semelhante, é denominada Bacia do Amazonas (Cordani *et al.*, 1984).

O substrato da Bacia do Amazonas é constituído por rochas metamórficas meta-vulcânicas e metassedimentares da Província Maroni-Itacaiúnas (Faixa móvel no Proterozóico inferior) e pela Província Amazônica Central (área cratônica), composta por rochas graníticas e seqüências vulcano-sedimentares relacionadas ao Proterozóico inferior (Cordani *et al.*, 1984).

O registro sedimentar do Fanerozóico da Bacia do Amazonas é composto por quatro seqüências principais (Fig. 4): seqüência Ordoviciano-Devoniana, relacionada ao Grupo Trombetas; seqüência Devoniana-Carbonífera, que compreende os Grupos Urupadi e Curuá; seqüência Carbonífera-Permiana, pertencente ao **Grupo Tapajós** (contexto de estudo neste trabalho), com sedimentação continental na base, seguida por carbonatos e evaporitos e finalizando com *red beds* no topo e a seqüência Cretácea-Terciária, marcada pelo Grupo Javari (Cunha *et al.*, 1994).





**Figura 4.** Carta cronoestratigráfica da Bacia do Amazonas. (Modificado de Cunha *et al.*, 1994).

A sedimentação do **Paleozóico** reflete os eventos tectono-magmáticos ocorrentes na bacia durante essa era, os quais provocaram movimentações epirogenéticas intraplaca, resultando na formação de arcos e discordâncias regionais (eg. Arco de Purus, Arco de Gurupá), além de controlarem as ingressões marinhas que influenciaram os ambientes deposicionais (Cunha *et al.*, 1994).

As primeiras rochas sedimentares paleozóicas são representadas pelo Grupo Trombetas, do **Eo-ordoviciano**, cuja deposição ocorreu em alternância entre sedimentos glaciais e marinhos, com ingressões de leste para oeste, posicionando-se em *onlap* sobre o Arco de Purus, o qual impedia a conexão com a Bacia do Solimões. Já no limite leste da Bacia do Amazonas, a sedimentação ultrapassou o Arco de Gurupá, conectando-o com as bacias do noroeste africano (Cunha *et al.*, 1994).

No Devoniano, após a discordância relacionada à Orogenia Caledoniana, 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 (Cunha *et al.*, 1994).

Após o término da Orogenia Eo-Herciniana registrou-se um novo ciclo entre o **Neocarbonífero** (Pensilvaniano) e o **Permiano**, associado a mudanças climáticas significativas, de frio para quente e árido. Esse ciclo corresponde às rochas do **Grupo Tapajós** (Fig. 4) e suas formações: **Monte Alegre**, com arenitos eólicos e de *wadis* (rios de deserto), intercalados por siltitos e folhelhos de interdunas e lagos; **Itaituba**, com carbonatos de inframaré (alvo de estudo deste trabalho, veja comentários a seguir) e **Nova Olinda**, com evaporitos de planície de *sabkha*, depositados durante o final do Carbonífero. O Permiano é marcado pela Formação **Andirá**, que registra o final deste ciclo e é caracterizada por uma sedimentação continental, com siltitos, arenitos e folhelhos avermelhados, provavelmente afetada pela Orogenia Tardi-Herciniana (Cunha *et al.*, 1994).

As rochas do Grupo Tapajós vem sendo analisadas no contexto litoestratigráfico, bioestratigráfico e cronoestratigráfico. Estes estudos, desenvolvidos através da integração e correlação de dados obtidos de testemunhos de sondagem e sessões aflorantes, além de posicionar cronoestratigraficamente os depósitos em questão, permitiram o mapeamento de um complexo registro litológico e a construção do arcabouço estratigráfico para o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas. Dentre os pacotes sedimentares que compõem o Grupo Tapajós, os estratos da Formação Itaituba

foram os mais estudados até o momento, sendo acessíveis através da seção pensilvaniana aflorante na plataforma sul da bacia e caracterizando-se pela excelente qualidade de material sedimentar e abundante conteúdo fóssil, com uma rica fauna de invertebrados marinhos e menos diversos vertebrados, representados por assembléias de conodontes, dentes e escamas de peixes.

### **1.4.3. Grupo Tapajós**

O Grupo Tapajós, conforme proposto por Caputo (1984), é constituído em ordem ascendente pelas formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá (Fig. 4).

Esta unidade litoestratigráfica, cuja espessura total atinge aproximadamente os 2.800 m, envolve o período de tempo que vai do Pensilvaniano ao Permiano. Em termos gerais, as unidades que compõem o grupo são complexas litologicamente e, apesar 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 e aridez para o topo da seção, associada ao controle tectônico da deposição 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 bacia, sendo válidos principalmente para a calha central e se perdendo em direção às bordas.

A cronoestratigrafia do Grupo Tapajós vem sendo estabelecida principalmente com base em conodontes, foraminíferos e palinórfos. Os trabalhos em conodontes iniciaram com Fúlfaro (1965), enfocando apenas os aspectos sistemáticos dos elementos encontrados. Tiveram continuidade com Lemos (1990a, b; 1992a, b), Lemos & Medeiros (1989) e (1996a, b), Neis (1996), Scmazzon (1999), Lemos & Scmazzon (2001), Scmazzon (2004), Nascimento *et al.* (2005), Scmazzon & Lemos (2005) e onde além do estudo sistemático, a resolução bioestratigráfica dos depósitos analisados tornou-se o maior objetivo. 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).

#### **1.4.3.a. Formação Monte Alegre**

A Formação Monte Alegre é caracterizada por uma deposição predominantemente flúvio-eólica, intercalada com camadas de carbonatos depositados em ambiente marinho raso a restrito.

Freydank (1957 *in* Caputo, 1984) foi o primeiro a utilizar informalmente o nome Formação Monte Alegre. Esta formação aflora na região sul da bacia em um local chamado Maloquinha, a 5 km a sudoeste da cidade de Itaituba. A região aflorante tem aproximadamente 5 m de altura e se estende por 1 km ao longo do leito do Rio Tapajós. Em subsuperfície tem espessura máxima conhecida de 140 m, depositada em não conformidade sobre as unidades siliciclásticas do Mississipiano.

Seus depósitos são caracterizados por uma extensa seqüência de arenitos fluviais e eólicos, intercalados com siltitos e folhelhos de interdunas e lagos e carbonatos em direção ao topo da seção, estes últimos são considerados como marcadores das primeiras ingressões marinhas no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas (Caputo, 1984).

Caputo (1984) registra que esta formação é gradativamente recoberta pela Formação Itaituba, mostrando uma relação de transição entre as duas formações. Aquele autor defende que o limite entre as duas formações é dado na base de uma camada de anidrita contínua e possível de ser rastreada por toda bacia. Contudo, Cunha *et al.* (1994) definem o topo da Formação Monte Alegre como o último pacote significativo de arenito anterior aos extensos pacotes carbonáticos da Formação Itaituba.

#### **1.4.3.b. Formação Itaituba**

A Formação Itaituba é caracterizada pela sedimentação predominantemente carbonática/evaporítica e siliciclástica, igualmente depositada em ambiente marinho raso.

Hartt (1874 *in* Caputo, 1984) foi o primeiro a propor o nome Série Itaituba para definir as rochas carboníferas ao longo dos Rios Tapajós e Cupari, na plataforma sul da Bacia do Amazonas.

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.

Os estratos da Formação Itaituba são os depósitos mais ricos em fósseis marinhos da Bacia do Amazonas, com afinidade com as faunas da América do Norte, principalmente na região do Midcontinent, Apalaches e Illinois. Dentre os fósseis já encontrados nesta formação estão foraminíferos, corais, briozoários, crinóides, trilobitas, ostracodes, gastrópodes, bivalvos, braquiópodes, escolecodontes, peixes e conodontes. Os folhelhos e siltitos por vezes contêm crustáceos e plantas, indicativos de depósitos salobros e de água doce.

O limite superior da Formação Itaituba é gradacional com a Formação Nova Olinda, que a recobre. Playford & Dino (2000a, b) sugerem que o limite entre estas duas formações está em uma camada de areia de 25 a 35 m de espessura que recobre camadas de anidrita ou calcário da Formação Itaituba.

#### **1.4.3.c. Formação Nova Olinda**

A Formação Nova Olinda é composta por rochas predominantemente evaporíticas/siliciclásticas e carbonatos marinhos.

É mais conhecida através de perfurações de poços em subsuperfície, sendo a unidade mais espessa do Grupo Tapajós, com profundidade superior a 1200 m. Esta formação consiste de evaporitos (principalmente halita, anidrita e gipsita) e carbonatos intercalados com folhelhos cinza e marrom e siltitos de planície de *sabhka*. O limite entre esta formação e a Formação Itaituba é baseado em critérios de subsuperfície na região central da bacia, onde ocorrem os espessos depósitos arenosos da Formação Nova Olinda. Os estratos carbonáticos possuem fósseis marinhos semelhantes aqueles da Formação Itaituba, contudo, a fauna se torna empobrecida em abundância e diversidade, uma vez que seus depósitos se tornam cada vez mais evaporíticos em direção ao topo da seção. As características faunísticas e litológicas indicam a ocorrência de uma fase regressiva que progride desde os estratos superiores da Formação Itaituba, culminando em um ambiente restrito e árido que caracteriza a Formação Nova Olinda.

O contato com os *red beds* da Formação Andirá é considerado gradacional, mas de acordo com Silva (1996) é possível que exista um grande hiato temporal entre estas duas formações. Este autor comenta a ocorrência de *Fusulinella*, *Fusulina* e *Bradyina* spp. próximo ao topo da Formação Nova Olinda, as quais posicionam a unidade ainda no Desmoinesiano. Contudo dados palinológicos próximos à base da Formação Andirá, com a ocorrência de *Lueckisporites virkkae* sugerem idade correspondente ao neopermiano.

#### **1.4.3.d. Formação Andirá**

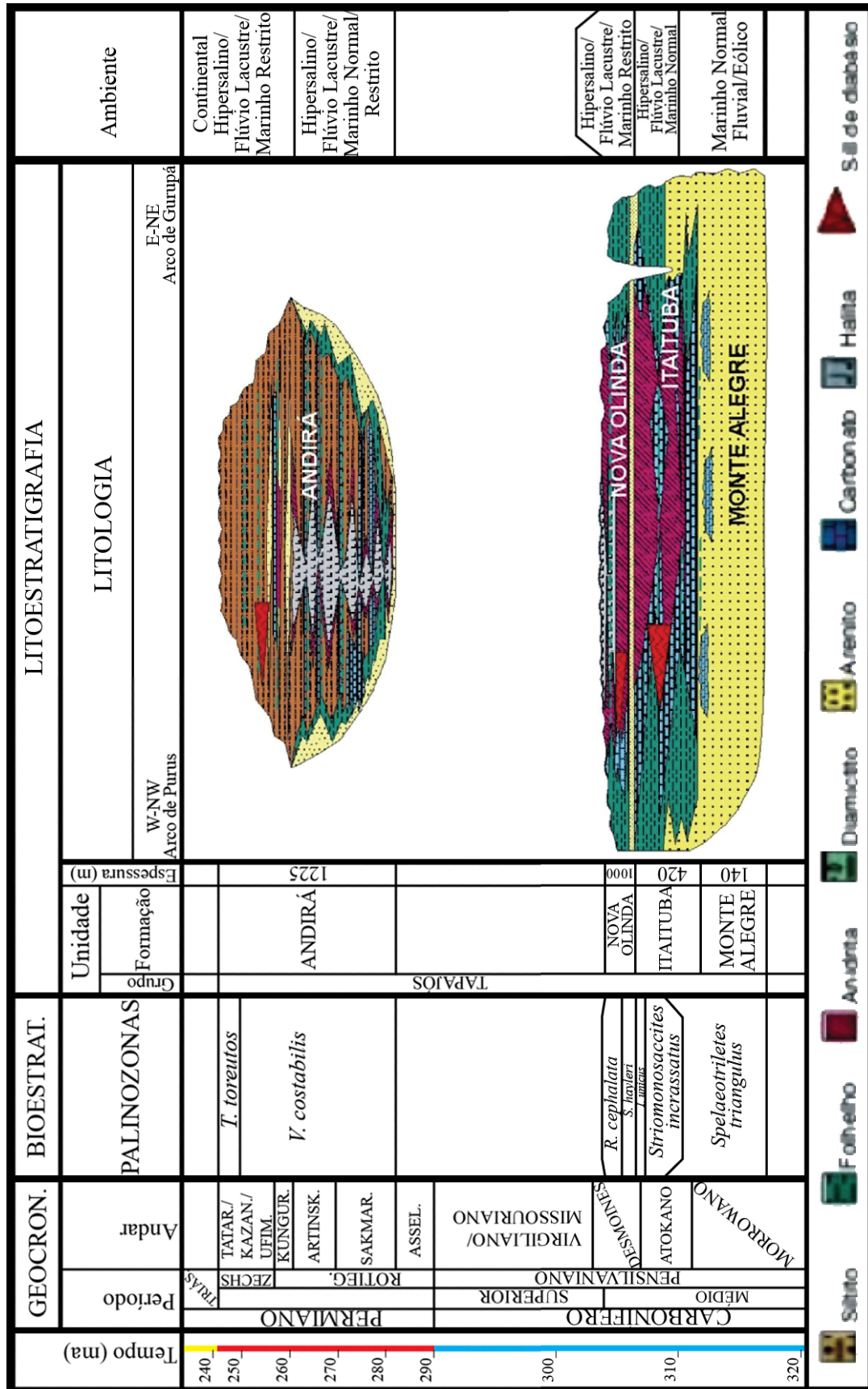
A seção paleozóica da bacia se encerra com a deposição dos sedimentos da Formação Andirá, com siliciclásticos avermelhados, raros evaporitos e carbonatos depositados em maior parte em ambiente fluvial/lacustrino a marinho restrito. Esta é a unidade mais superior do Grupo Tapajós e registra os primeiros sedimentos continentais permianos da Bacia do Amazonas, com depósitos clásticos relacionados por Milani & Zalán (1998) ao final da Orogenia Herciniana.

Assim, o ciclo Permo-Carbonífero, representado pelo Grupo Tapajós, inicia com os depósitos de dunas eólicas da Formação Monte Alegre relacionados à Orogenia Eo-Herciniana, gradando para um contexto ambiental representado pelos extensos e espessos carbonatos de infra-maré da Formação Itaituba. A mudança climática que já vinha ocorrendo desde o Mississípiano, de frio para cada vez mais árido e quente, resultou no ressecamento do ambiente marinho, dando lugar aos espessos pacotes evaporíticos da Formação Nova Olinda e culminando com os depósitos continentais da Formação Andirá.

Apesar do contato entre as formações Nova Olinda e Andirá ter sido considerado concordante pelos autores que inicialmente investigaram este limite (Daemon & Contreiras, 1971; Caputo *et al.*, 1971; Carozzi *et al.*, 1972; Szatmari *et al.*, 1975), estudos posteriores questionaram esses dados, sugerindo uma possível discordância no topo da Formação Nova Olinda. Enquanto Silva (1996) comenta a ocorrência dos foraminíferos *Fusulinella*, *Fusulina* e *Bradyina* spp. próximo ao topo da Formação Nova Olinda, as quais posicionam a unidade ainda no Desmoinesiano, dados isotópicos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Rodrigues *et al.*, 1997) sugerem uma idade eopermiana para esta formação. Dentre as mais significativas evidências dessa discordância encontram-se as que foram ressaltadas nos trabalhos bioestratigráficos efetuados por Playford & Dino

(2000a, b), onde os autores realizaram detalhados estudos palinoestratigráficos na seção. Foram definidas oito palinozonas para a seção neopaleozóica da bacia e indicada, inequivocamente, a presença de uma discordância intra Nova Olinda, através da ausência de seção entre as palinozonas *Raistrickia cephalata*, considerada de idade Westphaliana superior = Desmoinesiano superior e *Vittatina costabilis* - parte inferior - de idade Permiano Inferior.

A última reformulação da carta cronoestratigráfica do Grupo Tapajós foi proposta por Matsuda *et al.* (2004) que, a partir da integração de dados litológicos, sísmicos e, principalmente, por meio de evidências bioestratigráficas, propôs a redefinição do limite entre as formações Nova Olinda e Andirá, destacando a discordância pré-Andirá, definida com base em dados de palinomorfos (Fig. 5).

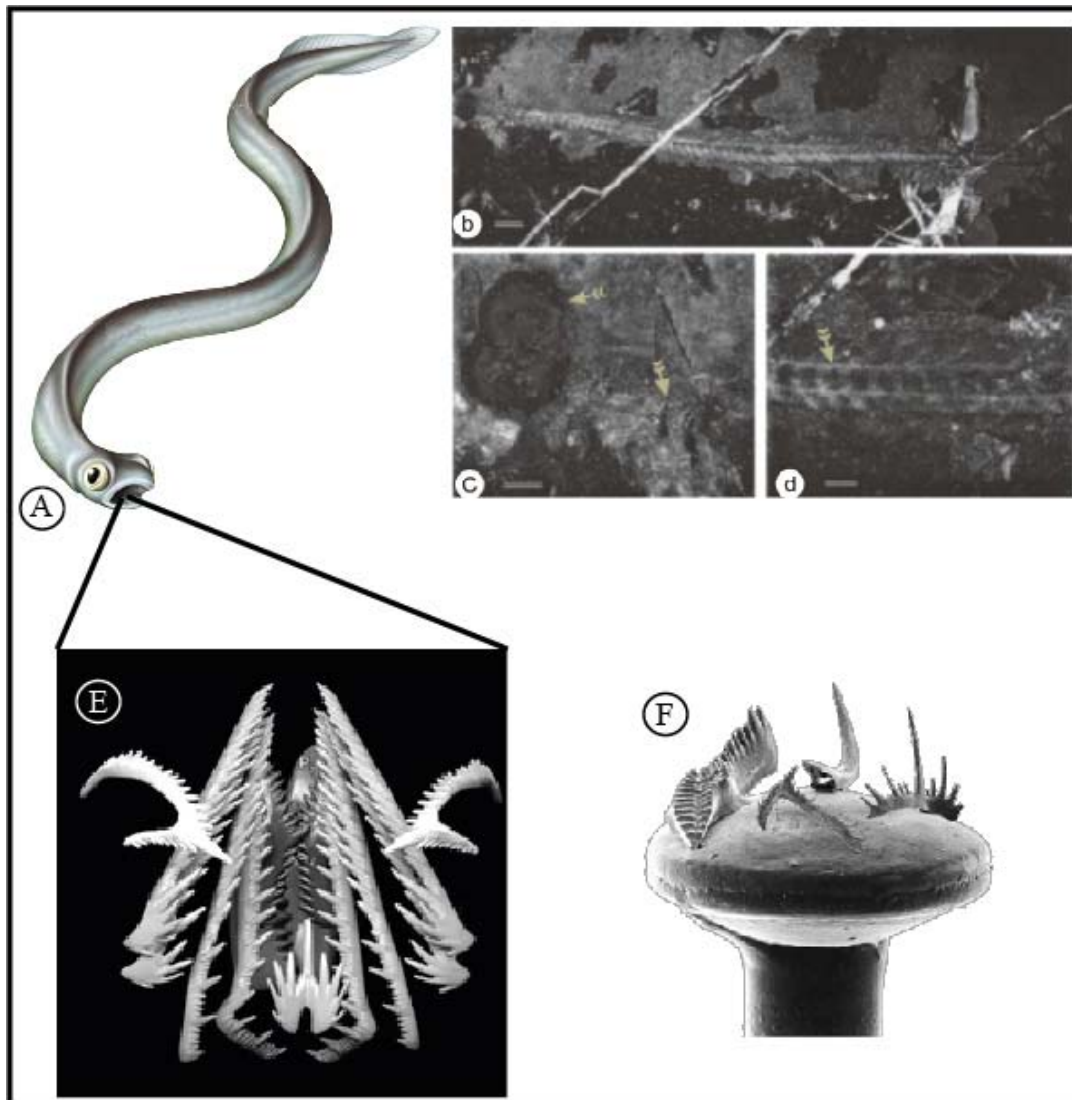


**Figura 5.** Reformulação da carta cronoestratigráfica do Grupo Tapajós, Bacia do Amazonas, com base em palinórfos. Observar a discordância pré-Andirá. (Modificado de Matsuda *et al.*, 2004).



#### ***1.4.4. Considerações sobre os Conodontes***

Os conodontes compõem um grupo extinto de cordados primitivos com forma de enguia (Fig. 6 A, b), olhos grandes, estruturas preservadas como notocorda e miômeros (Fig. 6 c, d) e tamanho de aproximadamente quatro centímetros. Exclusivamente marinhos e comuns no Paleozóico, são encontrados desde o Cambriano até o Triássico. A única porção mineralizada destes organismos é composta por peças denticuladas, denominadas elementos conodontes (Fig. 6 E, F). Estas peças têm ampla ocorrência mundial e uma ótima variação morfológica no tempo, tornando-as excelentes fósseis índices no zoneamento bioestratigráfico do Paleozóico. São também bons indicadores das condições paleoecológicas do meio onde viviam os organismos conodontes, 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. Ainda, estes organismos são peças fundamentais nas discussões sobre a idade dos primeiros vertebrados (Merrill & von Bitter, 1976; Briggs *et al.*, 1983; Davis & Webster, 1985; Purnell, 1993; Aldridge *et al.*, 1993; Sweet & Donoghue, 2001).



**Figura 6.** O organismo conodonte. A) representação artística do organismo (Modificado de Purnell *et al.*, 1995); b) Impressão fóssil do organismo conodonte; c) Impressão fóssil da região cefálica com ênfase nos grandes olhos; d) Impressão fóssil, em detalhe a notocorda (Modificado de Aldridge *et al.*, 1993); E) Representação tridimensional do aparelho de ozarkodinida (Modificado de Aldridge *et al.*, 1993); F) Principais formas de elementos conodontes dispostos sobre uma cabeça de alfinete (observe o tamanho  $\leq$  1mm) (Modificado de Purnell *et al.*, 1995).

Os elementos conodontes foram descobertos por Christian Henrich Pander em 1856, que lhes deu o nome de “conodontes” devido à forma dos elementos ser semelhante a “cones”. Estes elementos são em geral microscópicos, entre 0,25 a 2 milímetros de tamanho e são compostos por fosfato de cálcio [carbonato fluorapatita (francolita)]. São geralmente estudados como peças isoladas, contudo, em raríssimas ocasiões, foram encontrados agrupamentos ou conjuntos de elementos preservados na rocha, ocorrendo na região cefálica do organismo conodonte (Fig. 6 A, E). O

agrupamento de 15 ou mais elementos forma um aparelho alimentar e sua função como “dentes” foi inicialmente atribuída por Purnell (1993) e Purnell *et al.* (1995).

#### ***1.4.4.a. Posição Filogenética***

Os Conodontes já foram considerados como pertencentes aos filos Cnidaria, Braquiopoda, Annelida, Mollusca, Arthropoda, bem como ao filo Plantae (*cf.* Müller, 1981, p. W79). Foram também considerados como filo Chaetognatha (Bengtson, 1983); filo Conodonta (Briggs *et al.*, 1983; Swett, 1988) e ainda como filo Chordata (Dzik, 1976; Aldridge *et al.*, 1986; 1993; Briggs *et al.*, 1987; Janvier, 1995).

Pander (1856) acreditava que os elementos conodontes fossem as porções mineralizadas (dentes ou a mandíbula) de um grupo extinto de peixes. Outros, no entanto, acreditavam que tais elementos seriam semelhantes aos dentes dos mixinóides (*e.g.* *Myxina*) devido ao seu brilho e forma semelhantes, apesar de saberem que internamente ambos (*Myxina* e Conodontes) tinham estruturas completamente diferentes, além dos conodontes serem fosfáticos e as estruturas dos peixes-bruxa, orgânicas (Aldridge *et al.*, 1987). Sweet (1988) também faz referência aos conodontes enquanto dentes ou placas dermais de peixes primitivos, semelhantes aos mixinóides, porém, através da análise da estrutura lamelar dos elementos conodontes, concluiu que eles eram de fato representantes dos Cordados, incluídos em um ramo distinto dos Agnatha.

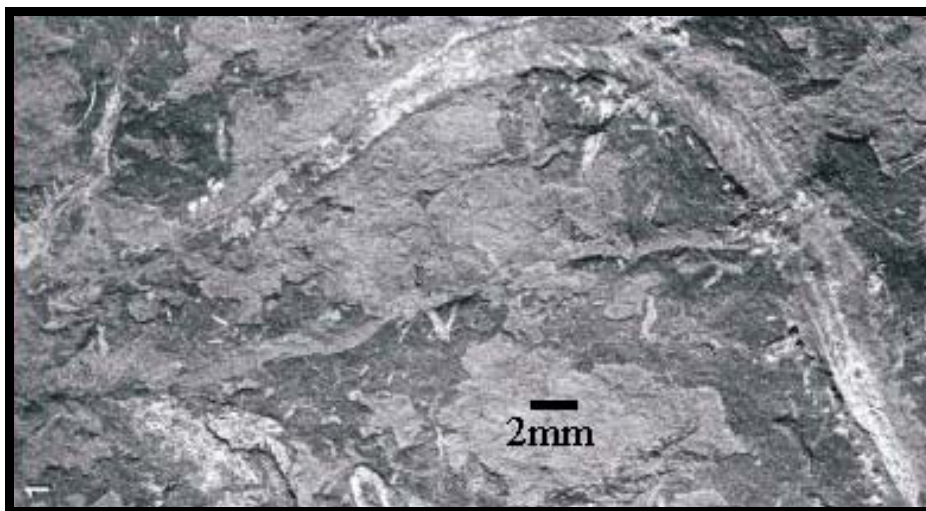
Após a descoberta do primeiro espécimen do animal conodonte (Briggs *et al.*, 1983) no Granton Shrimp Bed da Escócia, os autores postularam que os conodontes não seriam pertencentes ao Filo Chaetognatha nem aos Cordados, devido à falta de evidências (*e.g.* dentina) disponíveis no fóssil encontrado para confirmar sua presença em um ou em outro filo. Assim, Briggs *et al.* (1983) concluíram que os conodontes pertenciam a um filo separado, denominado Filo Conodonta. Mais tarde, foram descobertos outros espécimens com melhor preservação, naquele mesmo local, com feições das partes orgânicas indicando claramente uma afinidade com os Agnatha, (Aldridge *et al.*, 1986; Dzik, 1976; Conway-Morris, 1989; Briggs, 1992).

Utilizando microscópio eletrônico de varredura e de transmissão, Szaniawski (1987) estudou a microestrutura e a composição do corpo basal de alguns elementos conodontes. Fazendo comparações entre os Conodontes e os Chaetognatha, Szaniawski (1987) concluiu que provavelmente os Conodontes não seriam

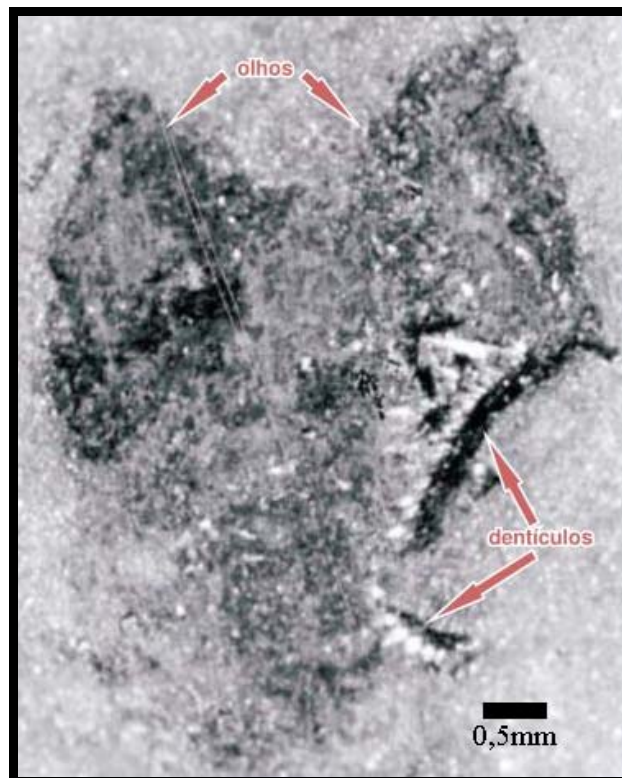
*Chaetognatha sensu stricto*, mas que ambos teriam sido originados de um ancestral comum.

Com os novos espécimens do Granton Shrimp Bed, Aldridge *et al.* (1993) consideraram os Conodontes como representantes de um grupo paralelo aos Agnatha, porém com semelhanças com os mixinóides, não havendo mais propósito em colocá-los como filo separado. Estes espécimens mostraram que os conodontes eram animais pequenos, com aproximadamente 4 centímetros de comprimento e forma de enguia (Fig. 7), olhos proporcionalmente grandes (Fig. 8), uma notocorda na parte posterior, miômeros (blocos de músculos em forma de “V”) nas laterais do corpo e nadadeira caudal (Fig. 9). Essas características inserem os Conodontes dentro do Filo Chordata (Purnell *et al.*, 1995). Além disso, foram identificados, em alguns conodontes: tecido ósseo, esmalte, cartilagem calcificada e dentina, que são características únicas dos vertebrados (Sansom *et al.*, 1992; 1994).

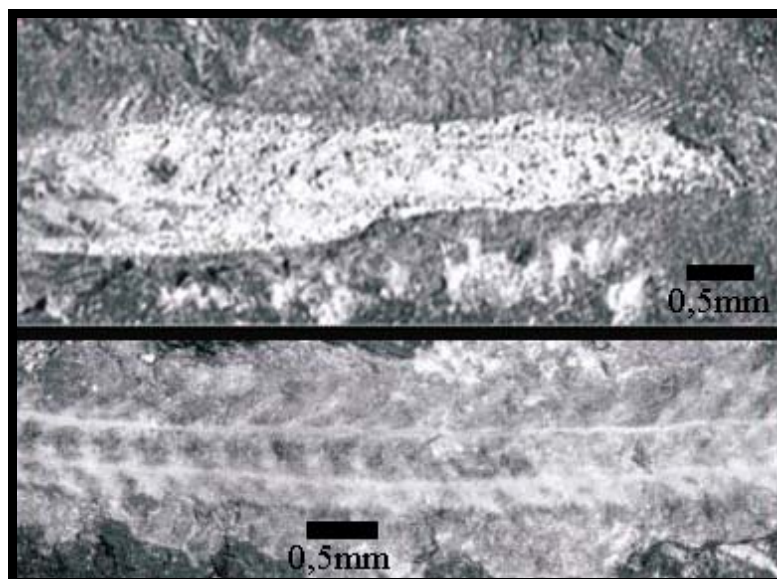
As evidências da anatomia das partes moles e a microestrutura interna dos elementos conodontes indicam que esses organismos estão entre os vertebrados mais primitivos. Contudo, a falta de um esqueleto mineralizado leva a crer que eles seriam mais primitivos que os Agnatha (*e.g.* Ostracodermos = astraspídeos, pituriaspídeos, etc), mas seriam mais avançados que os mixinóides (*e.g.* *Myxina*, que não possuem esqueleto fosfático, inclusive no aparelho alimentar), sugerindo que os conodontes seriam os vertebrados mais primitivos até hoje encontrados (Purnell *et al.*, 1995).



**Figura 7.** Impressão fósil de um espécime de conodonte evidenciando o tamanho corporal reduzido e a forma corporal semelhante a uma enguia. (Modificado de Sweet & Donoghue, 2001).



**Figura 8.** Impressão fóssil de um espécime de conodonte evidenciando os olhos proporcionalmente grandes. (Modificado de Sweet & Donoghue, 2001).



**Figura 9.** Impressão fóssil de um espécime de conodonte evidenciando a porção posterior (região caudal) e a notocorda e miômeros. (Modificado de Sweet & Donoghue, 2001).

Apesar destas descobertas e dos trabalhos desenvolvidos com base na histologia dos elementos conodontes e que revelaram diferentes características comuns aos vertebrados (Sansom *et al.*, 1992; 1994), alguns especialistas em vertebrados primitivos ainda têm dúvidas com relação à afinidade dos conodontes com os

vertebrados. Estes acreditam que tais características ainda não são suficientes para considerá-los pertencentes ao subfilo Vertebrata (Janvier, 1988; Blicek, 1992; Forey & Janvier, 1993; 1996; Sweet & Donoghue, 2001).

Enquanto evidências de partes moles fossilizadas do animal conodonte, como estas descobertas no Carbonífero da Escócia (Fig. 7), são raras, assembléias naturais de conodontes são mais comumente encontradas. Essas assembléias apresentam um padrão de distribuição das peças no aparelho alimentar denominado “Padrão Standard” (Aldridge *et al.*, 1987). Este padrão é produzido devido ao colapso e achatamento da estrutura tridimensional do aparelho, não tendo sofrido modificações entre o decaimento e fossilização. Modalidades diferentes deste padrão podem ocorrer devido a variações no corte da rocha, sendo denominados: “padrão paralelo”, “perpendicular” e “linear”. Até o presente momento assembléias naturais e impressões fósseis do animal conodonte ainda não foram encontradas na América do Sul, estando o seu registro caracterizado apenas pela ocorrência de elementos conodontes dissociados do aparelho, como ocorre nas bacias do Amazonas, Solimões, Parnaíba e Acre.

#### ***1.4.4.b. Importância dos Conodontes –Índice de Alteração de Cor - IAC***

As peças denticuladas dos conodontes são compostas por lâminas biomineralizadas de apatita, entre as quais se dispõem camadas mais finas de matéria orgânica. Desta forma, além de sua importância como marcadores bioestratigráficos de rochas paleozóicas e triássicas, esses microfósseis também são úteis na determinação das paleotemperaturas através do uso do IAC – índice de Alteração de Cor. Sua aplicação como indicadores geotermiais se dá em função dos diferentes níveis de maturação da matéria orgânica, definida pelas variações na sua coloração (Figs. 10 e 11).

Experimentos realizados em campo e em laboratório mostraram que a alteração de cor em conodontes está diretamente relacionada à profundidade de soterramento, tempo de sepultamento e gradiente geotermal (Epstein *et al.*, 1977). Apesar de a alteração de cor em conodontes ter sido primeiramente observada por Ellison (1941), as diferenças na sua coloração e sua compilação em um contexto sistemático (IAC) foi realizada por Epstein *et al.* (1977) e Rejebian *et al.* (1987) (Figs. 10 e 11). O IAC vai do amarelo pálido ao preto (50° a 600°C) e se baseia na análise das mudanças de cor que sofre a matéria orgânica ao longo do tempo com o aumento da

temperatura. Acompanhando as mudanças de cor também ocorrem deformações, recristalizações, fraturas e outras alterações microestruturais que também podem fornecer importantes informações sobre as condições geológicas do meio em que se encontram esses microfósseis (Lopez *et al.*, 2006). Assim, através da análise das alterações na cor dos elementos conodontes associada a uma minuciosa análise de sua microestrutura interna, é possível diferenciar os graus de metamorfismo que a rocha portadora foi submetidos.













Ainda, existem outros fatores que podem promover as mudanças na cor e na microestrutura interna dos conodontes que não são necessariamente relacionados à temperatura e que ocorrem quando a rocha portadora é atravessada por fluídos (Lopez *et al.*, 2006). Neste sentido, trabalhos pioneiros como de Epstein *et al.* (1977); Rejebian *et al.* (1987) e estudos posteriores de Sarmiento & Garcia-Lopéz (1994); Konigshof (2003) detalham a metodologia aplicada na avaliação do IAC e das mudanças ocorridas nos conodontes submetidos a diferentes processos geológicos (Lopez *et al.*, 2006).

Os conodontes apresentam basicamente três tipos de microestruturas internas: lisa, granular e sacarosa. Os conodontes com *microestrutura lisa* têm superfícies com aspecto polido e brilhante correspondendo, em sua maior parte, a formas pouco ou nada alteradas por processos geológicos; a esta microestrutura normalmente se encontram associados valores de IAC inferiores ou iguais a 4. Neste caso, os cristais de apatita conservam sua disposição original (Lopez *et al.*, 2006).

A microestrutura *granular* corresponde a superfícies com recristalização da apatita (Epstein *et al.*, 1977) estando normalmente associada a valores de IAC = 5 (correspondendo a temperaturas entre 320° e 340°C). Os cristais são granulares, de hábito idiomorfo-subidiomorfo, não orientados e seu tamanho aumenta com o grau de metamorfismo. A recristalização afeta também as lamelas internas dos elementos conodontes e o tamanho dos cristais diminui em direção ao interior dos mesmos (Lopez *et al.*, 2006). Quando se trata de um aquecimento rápido, os cristais de apatita tendem a permanecer inalterados.

Na microestrutura *sacarosa* as superfícies se apresentam corroídas e com aspecto grumoso, resultado da corrosão da camada mais externa dos elementos conodontes. Este tipo de microestrutura também pode ser resultado do crescimento de cristais epigenéticos e pseudomorfos que são produzidos como consequência de dolomitização ou por ação de fluidos hidrotermais e mineralizações associadas.

É importante salientar que, enquanto a dolomitização consiste em uma alteração superficial, que não afeta as lamelas internas dos elementos conodontes, a recristalização diagenética consiste na remobilização do fosfato durante a dolomitização e precipitação de uma cobertura formada por cristais de apatita irregulares, por pseudomorfismo de calcita ou dolomita, promovendo a formação de uma microestrutura sacarosa pseudogranular (March Benloch & Santisteban, 1993). Neste caso os conodontes podem apresentar cores esbranquiçadas e podem ser interpretados erroneamente como indicativos de altas temperaturas, mas que de fato se devem à perda da matéria orgânica por oxidação, vinculada à circulação de fluidos de baixa temperatura.

Índice de Alteração de Cor	Produção Experimental de Alteração de Cor	Alteração de cor nas Coleções de Cor	Temperatura °C	Intervalo de Carbono Fixado	Cores do solo segundo Munsell
1			Menor que 50° a 80°	Menor que 60%	2.5Y7/4 a 8/4 e 10YR7/3 a 8/4
1/2			50° a 90°	55% a 70%	2.5Y7/4 a 8/4 e 10YR7/3 a 8/4
2			60° a 140°	55% a 70%	7.5YR4/2 a 3/2
3			110° a 200°	70% a 80%	10YR4/2 a 5YR2.5/2 a 10YR2.5/1
4			190° a 300°	80% a 95%	5YR2.5/2 a 10YR2.5/1
5			Acima 300°	Acima 95%	7YR2.5/0 a 2.5YR2.5/0

**Figura 10.** Índice de alteração de cor. (Modificado de Epstein *et al.*, 1977).



Índice de Alteração de Cor	Produção Experimental de Alteração de Cor	Alteração de Cor nas Coleções de Campo	Temperatura °C	Cores do Solo segundo Munsell
5			300° - 480°	Preto (N1)
6			360° - 550°	Cinza escuro médio a cinza médio (N4-N5)
61/2			440° - 610°	Cinza claro médio a cinza claro (N6-N7)
7			490° - 720°	Cinza muito claro a branco (N8-N9)
8			> 600°	Incolor ou translúcido

**Figura 11.** Índice de alteração de cor. (Modificado de Rejebian *et al.*, 1987).

#### ***1.4.4.c. Importância dos Conodontes – Zoneamento Bioestratigráfico Mundial***

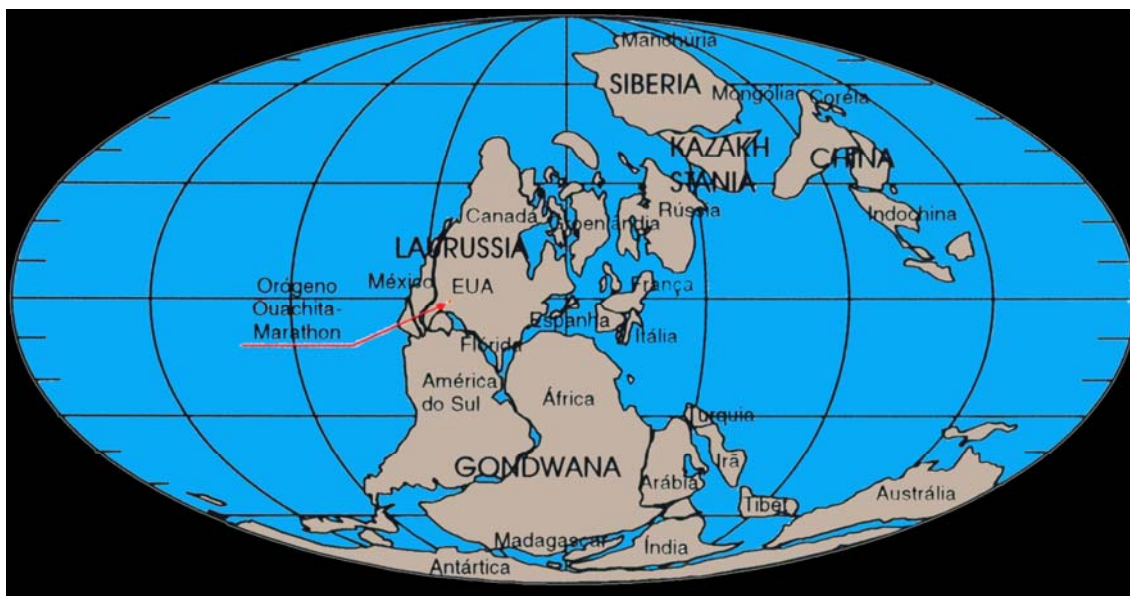
A distribuição estratigráfica de algumas espécies de conodontes possibilita o reconhecimento de seqüências com mais de 100 unidades bioestratigráficas, descritas como zonas e subzonas (Sweet & Bergström, 1981). Sweet (1988) apresenta um guia de distribuição das zonas de conodontes do Cambriano ao Triássico, com a distribuição estratigráfica de 562 espécies de conodontes, incluindo 156 zonas.

Para o Pensilvaniano inferior (Morrowano), foram definidas oito zonas, seis para o Pensilvaniano médio (Atokano e Desmoinesiano) e dez para o Pensilvaniano superior (Missouriano e Virgiliano). O Morrowano é um andar muito importante na

evolução dos conodontes, pois durante este intervalo tiveram origem todos os principais gêneros do Pensilvaniano e Permiano. *Rhachistognathus*, *Neognathodus*, *Declinognathodus*, *Idiognathoides*, *Diplognathodus*, *Idiognathodus*, *Streptognathodus* e os primeiros gondolelídeos são os principais fósseis índices. Entretanto, pela baixa diversidade específica no Pensilvaniano, o biozoneamento não é tão detalhado, como por exemplo, no Ordoviciano.

O zoneamento bioestratigráfico para o Carbonífero, que inicialmente foi baseado em palinórfos, hoje é complementado por zoneamentos baseados em microfósseis marinhos (conodontes e fusulinídeos) e amonóides. Os limites das zonas estabelecidas por estas diferentes ferramentas geralmente não são coincidentes, entretanto os zoneamentos completam-se entre si (Peppers, 1996).

As zonas de conodontes são definidas para o Pensilvaniano em três regiões paleoequatoriais: América do Norte, oeste da Europa e Rússia. (Fig. 12) Nestas regiões foram estabelecidos andares para o Pensilvaniano, porém estes andares têm âmbito regional, devido ao provincialismo paleobiogeográfico ocorrido no Carbonífero, como consequência da glaciação no Gondwana.



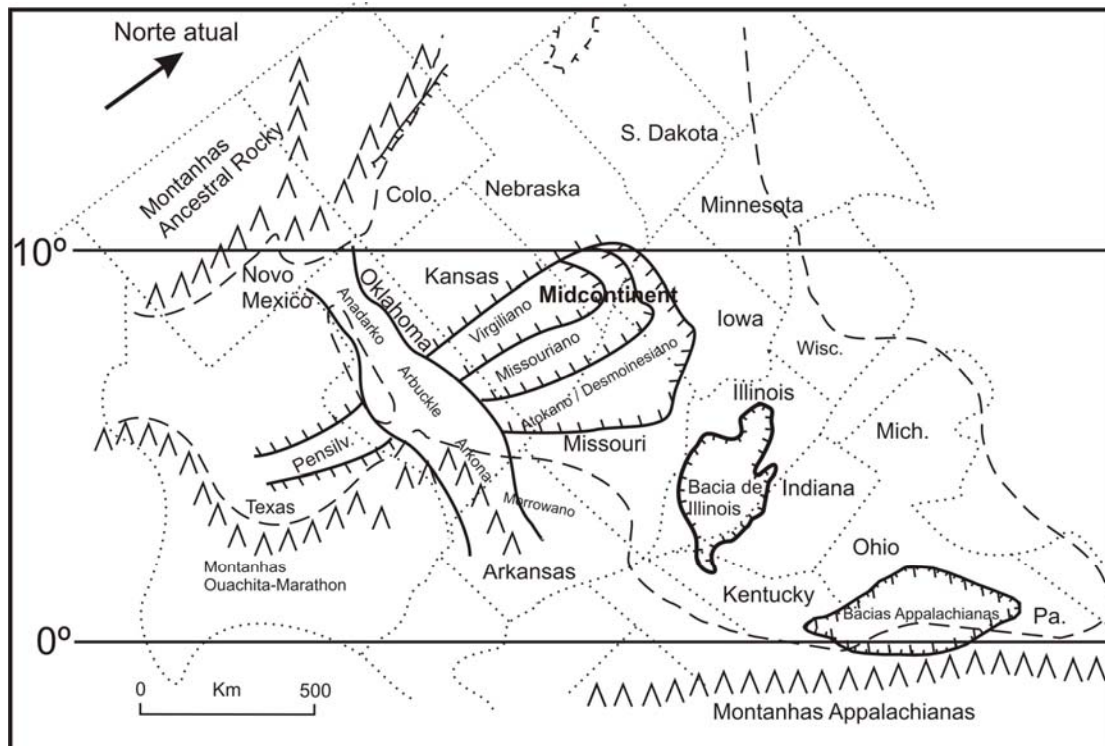
**Figura 12.** Paleogeografia do Gondwana no Carbonífero Superior. Observe que durante o Pensilvaniano a Bacia do Amazonas se localizava na porção oeste do Gondwana, em posição climática propícia à deposição de evaporitos. (Modificado de Rowley *et al.*, 1985).

#### ***1.4.4.d. Zonas de Conodontes da América do Norte***

Os primeiros estudos sobre conodontes pensilvanianos do *Midcontinent* iniciaram com os trabalhos de Gunnell (1931, 1933), Stauffer & Plummer (1932), Harris & Holingsworth (1933), Harlton (1933), Ellison (1941), Merrill (1975), Lane *et al.* (1971), Lane & Straka (1974) e Grayson (1979).

Nos Estados Unidos os trabalhos sobre conodontes do Pensilvaniano se concentram em quatro principais regiões atualmente situadas conforme apresentado a seguir: 1) norte: Alaska – Savage & Barkeley (1985); 2) região oeste: Texas – Dunn (1970), Barrick & Boardman (1989), Grayson *et al.* (1989), Utah – Tynan, (1980) e Nail *et al.*, (1996) na Bacia de Paradox, Plateau do Colorado – Lane *et al.* (1971), 3) região sudeste: Bacia de Illinois – Merrill (1975), Brown *et al.* (1991), Rexroad *et al.* (1998, 2001), Bacia de Michigan - Landing & Wardlaw (1981) e Bacia dos Apalaches - Merrill & King (1971) e 4) região central: Midcontinent americano, principalmente Kansas, Oklahoma e Arkansas – Lane & Straka (1974), Sutherland & Manger (1977), Grubbs (1984), Grayson (1984, 1990), Sutherland & Grayson (1992), Grayson *et al.* (1990), Whiteside & Grayson (1990), Ritter, (1994), Barrick *et al.* (1999), Barrick & Heckel (2000), onde foram estabelecidos os estratotipos para o Pensilvaniano da América do Norte.

O Pensilvaniano na região do Midcontinent americano é subdividido nos andares Morrowano, Atokano, Desmoinesiano, Missouriiano e Virgiliano, com estratotipos descritos em Arkansas, Oklahoma, Iowa, Missouri e Kansas, respectivamente (Fig.13). Os intervalos bioestratigráficos foram definidos em zonas de conodontes e fusulinídeos.

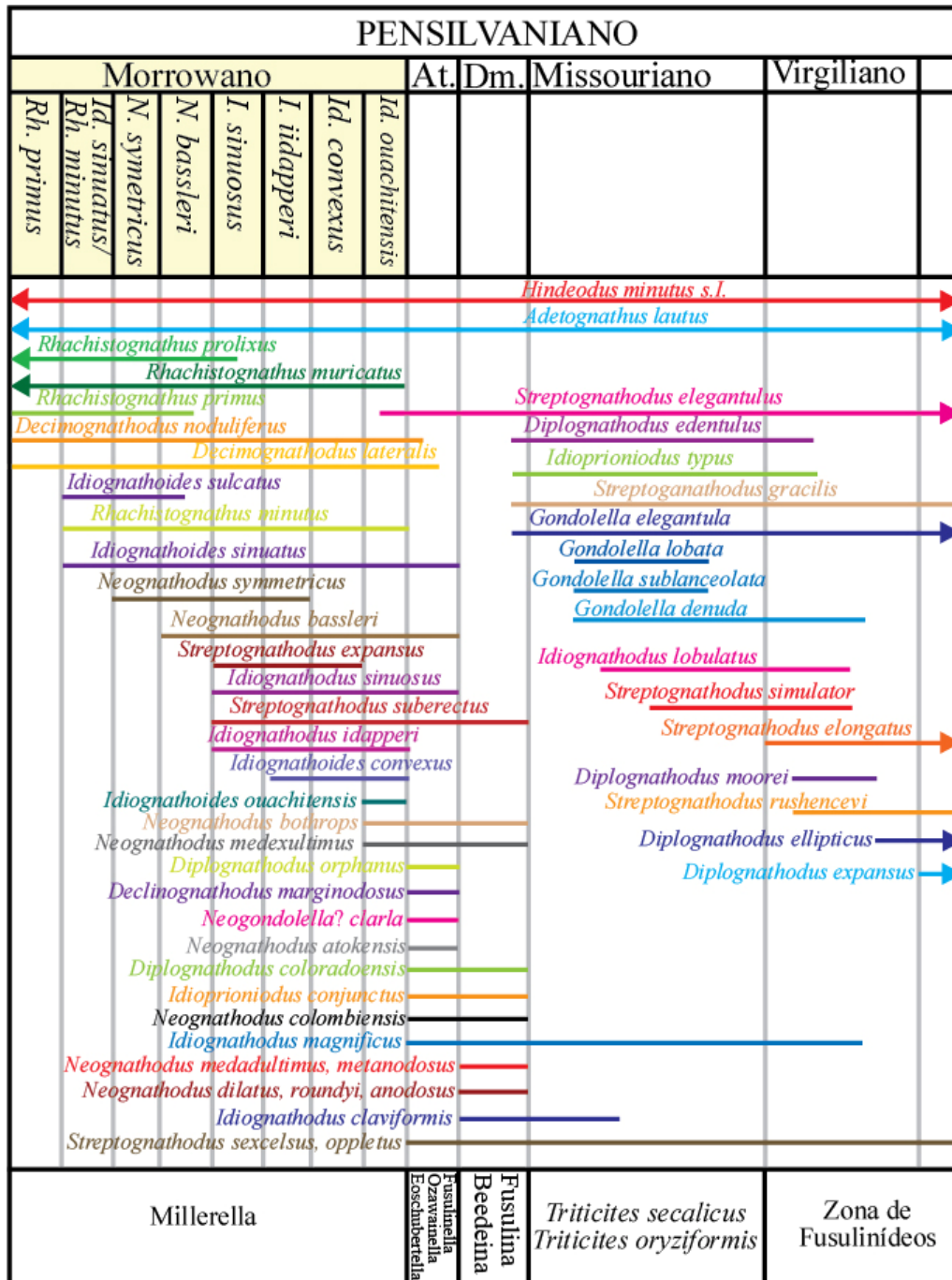


**Figura 13.** Reconstrução paleogeográfica da América do Norte no Pensilvaniano. (Modificado de Boardman II *et al.*, 1990).

Atualmente, os estratígrafos do Midcontinent consideram o Pensilvaniano inferior equivalente ao andar Morrowano, o Pensilvaniano médio equivalente aos andares Atokano e Desmoinesiano e o Pensilvaniano superior equivalente ao Missouriano e Virgiliano (Peppers, 1996).

#### 1.4.4.e. Morrowano da América do Norte

Sweet (1988) propõe oito zonas baseadas no primeiro aparecimento da espécie que dá nome a cada zona, para o Morrowano da América do Norte (Fig.14), enquanto que o Atokano e Desmoinesiano ainda não possuem zonas formalmente aceitas. As zonas para o Morrowano são: *Rhachistognathus primus*, *Idiognathoides sinuatus*–*Rhachistognathus minutus*, *Neognathodus symmetricus*, *Neognathodus bassleri*, *Idiognathodus sinuosus*, *Idiognathodus klapperi*, *Idiognathoides convexus*, *Idiognathoides ouachitensis*.



**Figura 14.** Biozonas de conodontes definidas para o Morrowano da América do Norte, At – Atokano, Dm – Desmoinesiano, (Modificado de Sweet, 1988).

#### 1.4.4.f. Atokano da América do Norte

No biozoneamento da América do Norte *Idiognathoides sinuatus* ocorre do Morrowano inferior ao Atokano e *Idiognathodus sinuosus* do Morrowano superior ao Atokano. *Streptognathodus suberectus* ocorre do Morrowano superior ao Desmoinesiano. *Idiognathoides fossatus*, *Idiognathoides tuberculatus*, *Diplognathodus*

*orphanus*, *Declinognathodus marginodosus* e *Neognathodus atokaensis* são registrados somente no Atokano.

#### **1.4.4.g. Desmoinesiano da América do Norte**

O limite Atokano/Desmoinesiano não está ainda definido, mas é sugerido na base da zona de *Fusulinella/Fusulina* e *Beedeina* (Sutherland & Manger, 1984; Lambert *et al.*, 2001).

O Pensilvaniano médio da América do Norte ainda não possui zonas de conodontes formalmente definidas, mas os trabalhos de Barrick & Boardman (1989), Barrick *et al.* (1999) e Barrick & Heckel (2000) apresentam diferentes possibilidades de zoneamentos a partir dos gêneros *Neognathodus*, *Gondolella* e principalmente de *Idiognathodus* e *Streptognathodus*.

*Diplognathodus* e *Gondolella* são úteis para o refinamento do zoneamento do Desmoinesiano, mas seus limites estratigráficos ainda não foram suficientemente bem definidos.

Lambert *et al.* (2001) sugerem as seguintes zonas para o Desmoinesiano do Midcontinent americano: *Neognathodus caudatus*, *Neognathodus asymmetricus* e *Neognathodus dilatatus* e defendem que, embora a revisão taxonômica dos conodontes do Pensilvaniano não esteja completa, as espécies correspondentes a *Neognathodus*, *Idiognathodus* e *Streptognathodus*, estão suficientemente descritas e ilustradas, de forma que podem ser utilizadas para a correlação bioestratigráfica do Desmoinesiano superior ao Virgiliano.

#### **1.4.4.h. Zonas de Conodontes da Bacia do Amazonas**

Lemos (1990a) identificou três zonas de assembléia para o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas (Fig.15), de idade **eomorrowana**: zona de *Neognathodus symmetricus*/*Rhachistognathus muricatus* (Formação Monte Alegre e porção inferior da Formação Itaituba); para o **Atokano**: zona de *Diplognathodus orphanus* / *Diplognathodus coloradoensis* (porções média e superior da Formação Itaituba) e para o **Virgiliano**: zona de *Streptognathodus elongatus*/*Idiognathodus ellisoni* (base da Formação Nova Olinda), renomeada em Lemos & Scmazzon (2001) como *Idiognathodus claviformis* - *Idiognathodus incurvus*, de idade eodesmoinesiana.

TEMPO (m.a.)				GEOCRON.
311				
307				
CARBONIFERO				Periodo
Pensilvaniano				
Morrowano		Atokano	Desmoinesiano	
◆ <i>Neognathodus symmetricus</i> / <i>Rhachistognathus muricatus</i>		◆ <i>Diplognathodus orphanus</i> / <i>Diplognathodus coloradoensis</i>	◆ <i>Streptognathodus elengatus</i> / <i>Idiognathodus ellisoni</i>	Lemos, 1990
◆ <i>Neognathodus symmetricus</i> / <i>Rhachistognathus muricatus</i>		◆ <i>Diplognathodus orphanus</i> / <i>Diplognathodus coloradoensis</i>		Lemos & Medeiros, 1996a
◆ <i>Rhachistognathus muricatus</i> / <i>Idiognathoides ouachitensis</i>		◆ <i>Diplognathodus</i> sp.		Neis, 1996
● <i>Idiognathodus simuosus</i> / <i>Rachistognathus muricatus</i>		● <i>Idiognathodus klapperi</i> / <i>Streptognathodus parvus</i>	● <i>Idiognathodus claviformis</i> / <i>Idiognathodus incurvus</i>	Scomazzon, 1999
			● <i>Idiognathodus claviformis</i> / <i>Idiognathodus incurvus</i>	Lemos & Scomazzon, 2001
		★ <i>Idiognathoides sinuatus</i> Subzona: <i>Neognathodus roundi</i>		Nascimento, 2005
⌋ <i>Rhachistognathus muricatus</i>		⌋ <i>Diplognathodus orphanus</i>  <i>Idiognathodus incurvus</i> / ● <i>Neognathodus medadulimus</i> / <i>Neognathodus atokaensis</i>		Nascimento, 2008

★ Zona de Ocorrência ● Zona de Intervalo ⌋ Zona de Amplitude ◆ Zona de Associação ● Cenozona

**Figura 15.** Biozonas de conodontes definidas para o Carbonífero da Bacia do Amazonas.

A zona *Neognathodus symmetricus* - *Rhachistognathus muricatus* tem o limite inferior definido pelo primeiro aparecimento de *Neognathodus symmetricus* e o limite superior pelo aparecimento de *Diplognathodus orphanus* e *D. coloradoensis*. Os demais conodontes presentes são: *Neognathodus bassleri*, *Hindeodus minutus*, *Adetognathus lautus*, *Declinognathodus noduliferus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Streptognathodus suberectus* e *Streptognathodus expansus*. Tal zona pode ser relacionada à zona de *Neognathodus bassleri* (Lane, 1977) e *Neognathodus*

*symmetricus* (Whiteside & Grayson, 1990 e Sutherland & Grayson, 1992) da América do Norte.

A zona *Diplognathodus orphanus* - *Diplognathodus coloradoensis* é marcada na base pelas espécies que dão nome à zona e no topo pelo desaparecimento de *Diplognathodus orphanus*. Os conodontes presentes são: *Declinognathodus noduliferus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus magnificus*, *Neognathodus roundyi*, *Neognathodus bassleri* e *Streptognathodus elegantulus*. Esta zona pode ser correlacionada com a zona *Diplognathodus* spp. da América do Norte (Grayson, 1984).

A zona *Streptognathodus elongatus* - *Idiognathodus ellisoni* foi renomeada em Lemos & Scomazzon (2001) para zona de intervalo de *Idiognathodus claviformis*- *Idiognathodus incurvus* (Fig.15). O limite inferior é identificado pelo primeiro aparecimento de *Idiognathodus claviformis* e o limite superior é dado pelo desaparecimento de *Idiognathodus incurvus*. Os conodontes presentes são *Idiognathodus magnificus*, *Neognathodus bassleri* e *Streptognathodus elegantulus*. Esta zona pode ser correlacionada à zona de mesmo nome de Scomazzon (1999) para a plataforma sul da Bacia do Amazonas, base da zona *Idiognathodus incurvus* (Whiteside & Grayson, 1990) e topo da zona de *Neognathodus* sp. C - *Idiognathodus incurvus* de (Sutherland & Grayson, 1992) da América do Norte.

Lemos & Medeiros (1996a) estudaram conodontes de amostras de subsuperfície da Bacia do Amazonas, com o intuito de obter dados biocronoestratigráficos para o possível reconhecimento do limite Morrowano/Atokano. Através das formas encontradas, foram estabelecidas duas zonas de associação relacionadas ao Pensilvaniano, sendo elas: zona *Neognathodus symmetricus*/*Rhachistognathus muricatus* (Formação Monte Alegre e parte inferior da Formação Itaituba; idade morrowana); zona *Diplognathodus orphanus* / *Diplognathodus coloradoensis*, associados a *Idiognathodus magnificus* (Formação Itaituba; idade atokana), sendo possível localizar o limite Morrowano/Atokano, na Bacia do Amazonas, na porção inferior da Formação Itaituba (Fig.15).

Duas zonas de associação foram identificadas por Neis (1996) para a Formação Itaituba (Fig.15), em furos de sondagem, na plataforma norte e sul da Bacia do Amazonas, sendo elas: *Rhachistognathus muricatus* - *Idiognathoides ouachitensis* (neomorrowano) e *Diplognathodus* spp. (Atokano).

A Zona de *Rhachistognathus muricatus* - *Idiognathoides ouachitensis* é limitada pelo primeiro registro de *Idiognathoides ouachitensis* e desaparecimento de



*Rachistognathus muricatus*. Os conodontes presentes são *Hindeodus minutus*, *Adetognathus lautus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Streptognathodus suberectus* e *Streptognathodus expansus*. Esta zona pode ser correlacionada à zona de *Idiognathoides ouachitensis* do neomorrowano da América do Norte (Grayson, 1984). A zona de associação *Rhachistognathus muricatus/Idiognathoides ouachitensis* de Neis (1996), relacionada ao topo do Morrowano, correspondendo à zona de associação *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathodus muricatus* de Lemos (1990a).

A zona *Diplognathodus* spp. é marcada pelo surgimento de *Diplognathodus orphanus* e *Diplognathodus coloradoensis* e desaparecimento de *Diplognathodus orphanus*. Os conodontes presentes são: *Declinognathodus noduliferus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus magnificus*, *Neognathodus bassleri* e *Streptognathodus elegantulus*. Esta zona é correlacionada com a zona de *Diplognathodus orphanus* - *Diplognathodus coloradoensis* (Lemos, 1990a) e com a zona de *Diplognathodus* spp. da América do Norte (Grayson, 1984).

Scomazzon (1999) definiu três zonas de intervalo local para a Formação Itaituba (Fig.15), em afloramentos da plataforma sul da Bacia do Amazonas, são elas: *Idiognathodus sinuosus* - *Rhachistognathus muricatus*, para o neomorrowano, *Idiognathodus klapperi* - *Streptognathodus parvus*, para o neomorrowano - Atokano e *Idiognathodus claviformis* - *Idiognathodus incurvus*, para o eodesmoinesiano. Estas três zonas de intervalo propostas ocorrem dentro da Formação Itaituba.

A zona *Idiognathodus sinuosus* - *Rhachistognathus muricatus* é delimitada pelo aparecimento de *Idiognathodus sinuosus* e desaparecimento de *Rhachistognathus muricatus*. Os conodontes presentes são: *Adetognathus lautus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus klapperi* e *Declinognathodus noduliferus*.

A zona *Idiognathodus klapperi* - *Streptognathodus parvus* é determinada pelo aparecimento de *Idiognathodus klapperi* e desaparecimento de *Streptognathodus parvus*. Os conodontes presentes são: *Adetognathus lautus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus klapperi*, *Idiognathodus sinuosus*, *Streptognathodus elegantulus*, *Streptognathodus oppletus* e *Declinognathodus noduliferus*. Esta zona pode ser correlacionada com a zona de *Neognathodus* sp. B - *Idiognathodus klapperi* (Sutherland & Grayson, 1992) e de *Idiognathodus klapperi* (Whiteside & Grayson, 1990) da América do Norte.

A zona *Idiognathodus claviformis* - *Idiognathodus incurvus* é marcada pelo aparecimento de *Idiognathodus claviformis* e desaparecimento de *Idiognathodus incurvus*. Os conodontes presentes são: *Declinognathodus noduliferus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus magnificus*, *Neognathodus medadultimus* e *Diplognathodus orphanus*. Esta zona correlaciona-se com a zona de mesmo nome de Lemos & Scomazzon (2001) para a plataforma norte da Bacia do Amazonas, com a base da zona *Idiognathodus incurvus* (Whiteside & Grayson, 1990) e com o topo da zona de *Neognathodus* sp. C - *Idiognathodus incurvus* de Sutherland & Grayson (1992) da América do Norte.

Scomazzon (2004) compôs um perfil de norte a sul na Bacia do Amazonas. Estudando dezoito poços e a região aflorante na borda sul da bacia, estabeleceu uma zona de ocorrência de *Idiognathodus incurvus* para a Formação Itaituba e porção inferior da Formação Nova Olinda e uma subzona de *Diplognathodus coloradoensis* para a Formação Itaituba, sugerindo uma idade atokana média – eodesmoinesiana para a seção analisada.

Nascimento *et al.* (2005) estabeleceram uma zona de ocorrência de *Idiognathoides sinuatus* com ocorrência da porção basal da pedreira 1 até a porção superior da pedreira 2 (Fig. 15). Os conodontes presentes são: *Idiognathodus incurvus* e *Neognathodus* spp., sendo menos comum a ocorrência de *Diplognathodus coloradoensis*, *Idioprioniodus* sp., *Hindeodus minutus* e *Adetognathus lautus*, esta autora definiu uma subzona de *Neognathodus roundyi*, que ocorre na porção basal do intervalo estudado. Esta subzona contém *Neognathodus medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus incurvus*, *Hindeodus minutus* e *Adetognathus lautus*. De acordo com *Neognathodus atokaensis*, *N. medadultimus* e *N. roundyi*, a primeira espécie restrita ao Atokano e as duas seguintes típicas do Atokano-Eodesmoinesiano, é possível estimar uma idade atokana para a porção inferior da pedreira 2.

Visando o refinamento bioestratigráfico da seção marinha aflorante no Grupo Tapajós, a qual inclui as formações Monte Alegre e Itaituba, nesta tese são descritas as associações de conodontes e discutidas as zonas de amplitude do táxon *Rhachistognathus muricatus* e *Diplognathodus orphanus* e a cenozona *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultimus* e sua importância na definição do limite Morrowano/Atokano para o perfil estudado. Estas discussões serão apresentadas no capítulo 3, com discussões, conclusões e recomendações pertinentes a

esta tese e no artigo científico intitulado *Conodont Biostratigraphy and Paleoecology of Lower Pennsylvanian Marine Calcareous Profile - Itaituba Formation, Southern Region of Amazonas Basin*, que trata da associação de conodontes obtidos das zonas de afloramentos da região sul da Bacia do Amazonas, incluindo dois pontos de coleta as margens do Rio Tapajós e três pedreiras de calcário.

## ***1.5. Metodologias aplicadas***

### ***1.5.1. Trabalho de campo***

Os trabalhos de campo foram realizados na borda sul da Bacia do Amazonas, onde os depósitos correlacionados litoestratigraficamente às formações Monte Alegre e Itaituba estão aflorantes, nas proximidades da Cidade de Itaituba, ao sul do Estado do Pará e objetivaram a descrição do perfil de referência da seção e a coleta de amostras para o desenvolvimento dos estudos bioestratigráficos.

Neste período foram realizadas análise litoestratigráfica e levantamento de perfis descritivos de referência (litologias, estruturas, texturas e conteúdo fóssilífero) das seções aflorantes as margens do Rio Tapajós e das 3 pedreiras de calcário, totalizando 80 metros de empilhamento vertical. Outras atividades realizadas consistiram na obtenção de fotografias e amostras para a presente tese. Foram tomadas aproximadamente 500 fotografias e coletados aproximadamente quarenta quilos de rocha sedimentar. Deste total, foram coletadas 34 amostras da pedreira 1, 57 amostras da pedreira 2, 16 amostras da pedreira 3 e 21 da Beira do Rio Tapajós, totalizando 128 amostras. Em visita ao distrito da PETROBRÁS – Belém, sob a supervisão do Geólogo da PETROBRÁS, Dr. Nilo Matsuda, foram coletadas amostras adicionais de testemunhos de sondagem.

### ***1.5.2. Preparação das amostras para conodontes***

Para o desenvolvimento dos estudos bioestratigráficos, as amostras foram selecionadas no Laboratório de Microfósseis do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da UFRGS, onde passaram por processos mecânicos (britagem) e químicos (de acordo com o tipo de rocha), conforme metodologia básica de Austin (1987).

Em laboratório, foram pesados e separados 300g de cada amostra. A homogeneização do peso das amostras tem finalidade quantitativa/estatística e é importante sob o ponto de vista ecológico, no que diz respeito à distribuição e abundância dos conodontes por amostra.

#### ***1.5.2.a. Métodos Mecânicos***

Para esta metodologia a rotina de trabalho utilizada consiste na seleção das amostras de rochas carbonáticas e sua britagem em um britador de mandíbulas até fragmentos de aproximadamente 2 cm de tamanho. Tendo o cuidado de remover completamente os resíduos da amostra anterior para evitar a contaminação do material, todas as amostras são pesadas e separadas 300g de cada para posterior tratamento químico com ácido acético.

#### ***1.5.2.b. Métodos Químicos***

##### *Ácido Acético – Rocha Carbonática*

Nesta técnica, cada amostra é colocada em balde plástico com capacidade de 10 litros. Estes são preenchidos com 0,5 litros de ácido acético e completados com água até a marca de 4 litros. Este material é deixado em repouso até o final da reação química, sendo agitado uma vez ao dia para uma melhor ionização do ácido. Ao final do processo, que resulta na dissolução do carbonato, as amostras são lavadas em um conjunto de duas peneiras de 20 e 200 *mesh*. Após a lavagem e descarte da fração argila, que não é utilizada, o material desagregado é recolhido e colocado para secar, sendo preparado para as etapas de triagem sob lupa binocular e separação dos elementos conodontes e fauna associada.

Quanto à peneira de 20 *mesh*, caso ainda reste algum material não carbonático, devem ser aplicadas outras técnicas, quais sejam: querosene e água oxigenada (peróxido de hidrogênio) para os folhelhos coloridos ou plásticos e hipoclorito de sódio e água oxigenada para os folhelhos negros.

### *Querosene/ Água Oxigenada - Folhelhos Coloridos / Plásticos*

Essa técnica é utilizada em amostras de folhelhos coloridos cujas partículas permanecem maiores que 0,2 mm. Amostras mais compactas, depois de passarem pela primeira metodologia (amostras carbonáticas) devem ser processadas secas e cobertas com querosene, utilizando recipiente de vidro ou alumínio. Após 8h deve-se retirar o querosene, que é filtrado para reutilização. O material é coberto com água e detergente por um período de 24h e, após esse período, deve ser seco sem o auxílio de estufa.

As amostras mais friáveis, depois de passarem pela metodologia adequada a amostras carbonáticas, devem ser colocadas em um cadinho aquecido com água oxigenada 20 volumes, permanecendo assim por aproximadamente 2 horas. Após esse período, a amostra deve ser lavada repetidas vezes, visando a retirada total da lama.

### *Hipoclorito de Sódio / Água Oxigenada - Folhelhos Negros*

A amostra seca é colocada em um cadinho com solução de hipoclorito de sódio durante 2 dias. Após esse período, a amostra é lavada no conjunto de peneiras. O material não desagregado e seco na estufa deverá ser colocado em uma solução de água oxigenada 20 a 30 volumes, durante 2 horas. A amostra deverá ser novamente lavada no conjunto de peneiras para a retirada da lama e colocada na estufa para secagem. Este processo deverá ser repetido até a desagregação total da amostra e retirada total da fração fina (lama).

### ***1.5.3.Triagem do Material***

A triagem do material é a última etapa da preparação. O resíduo seco final é observado em lupa binocular e os conodontes e fauna associada obtidos por catação (*picking*) acondicionados em células próprias para classificação. Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório de Conodontes do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da UFRGS e antecede a classificação taxonômica dos elementos recuperados.

#### ***1.5.4. Fotomicrografias***

##### ***1.5.4.a. Microscopia Eletrônica de Varredura***

Desenvolvida no CME – Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS, esta técnica visa o estudo taxonômico dos elementos conodontes. Para tanto são obtidas imagens retroespalhadas (*backscattering images*), para maior resolução de imagem e melhor interpretação das estruturas na qual se baseia a identificação dos elementos conodontes.

Assim, foram obtidas 250 imagens retroespalhadas, utilizadas na elaboração das figuras apresentadas nos capítulos II, III e nos artigos científicos. A preparação das amostras para análises de Microscopia Eletrônica de Varredura foi desenvolvida no Laboratório de Conodontes do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da UFRGS.

##### ***1.5.4.b. Microscopia Óptica***

A avaliação do IAC - Índice de Alteração de Cor nos elementos conodontes estudados foi realizada com o auxílio das fotografias obtidas no microscópio óptico. Desta forma, 300 imagens foram utilizadas na elaboração das figuras apresentadas no capítulo 3, onde são discutidos os resultados obtidos pela análise de IAC. A preparação das amostras para análises de Microscopia Óptica foi desenvolvida no Laboratório de Conodontes do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da UFRGS.

#### ***1.6. Análise Taxonômica***

A análise e classificação taxonômica dos elementos conodontes recuperados é etapa indispensável para o estabelecimento do zoneamento bioestratigráfico e possíveis considerações paleoecológicas. Desenvolvida no Laboratório de Conodontes do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da UFRGS, consiste na identificação e classificação dos gêneros e espécies de conodontes com o auxílio de lupa binocular e imagens retroespalhadas da microscopia eletrônica de varredura.

A classificação sistemática dos elementos conodontes estudados encontra-se no capítulo 2 desta tese, intitulado *Sistemática Paleontológica*.

### ***1.7. Destino dos Produtos Químicos Utilizados na Preparação – Ácido Acético Glacial***

O resíduo de ácido é retirado das amostras já desagregadas após um período de aproximadamente 10 dias. Este procedimento é realizado anteriormente a lavagem das amostras e todo o resíduo de ácido é depositado em um tonel plástico. O resíduo de ácido com resíduos da preparação, ou seja, contendo sedimentos muito finos ainda em suspensão, é filtrado com o auxílio de um Kitasato (vidraria de laboratório que apresenta um orifício lateral, é normalmente utilizado junto com o funil de Büchner em filtrações (sob sucção) a vácuo). A depender da quantidade de resíduo de ácido produzido, este processo pode levar alguns dias. Enquanto os resíduos sólidos são depositados em sacos plásticos, o resíduo limpo final é depositado em um tonel plástico e enviado ao Departamento de Química para ser neutralizado.

Outros produtos químicos igualmente utilizados na preparação de conodontes, como água oxigenada, cloro e querosene, também são submetidos ao mesmo processo, sendo depositados em recipientes separados apropriados para cada caso. Antes do seu destino final, os recipientes são etiquetados com o nome do laboratório, do responsável pelo uso do material e do produto químico.

***CAPÍTULO 2***

***SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA***



## 2.1. Considerações iniciais

Desde sua descoberta por Christian Henrich Pander em 1856, até o início do século passado, os conodontes eram classificados com base na morfologia dos elementos, sendo cada espécime isolado descrito como um gênero ou espécie diferente. Essa situação perdurou até a descoberta dos primeiros *clusters* em 1934, por Hermann Schindt, na Alemanha e Harold Scott nos EUA. Tais *clusters* eram compostos por diferentes formas de elementos denticulados, demonstrando fazerem parte de um conjunto de elementos ou assembléias que, contudo, de início não foram bem aceitas por corresponderem a restos fecais de predadores do animal conodonte. Com a descoberta destes *clusters* os pesquisadores compreenderam que diferentes morfótipos ocorriam no mesmo conjunto, que foi denominado aparelho alimentar. Desde então, os conodontes passaram a ser definidos com base na composição e estrutura do aparelho multielemental (Scomazzon, 1999).

Assim, a sistemática artificial, empregada anteriormente, foi gradativamente sendo substituída pela classificação multielemental.

A classificação sistemática aqui utilizada é a de Robison (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).

## 2.2. Descrição Sistemática

**Filo CHORDATA Bateson, 1886**

**Subfilo VERTEBRATA Linnaeus, 1758**

**Classe CONODONTA Pander, 1856**

**Ordem OZARKODINIDA Dzik, 1976**

Família IDIOGNATHODONTIDAE Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero *Idiognathodus* Gunnell, 1931

*Idiognathodus incurvus* Dunn, 1966

Gênero *Idiognathoides* Harris & Hollingsworth, 1933

*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero *Neognathodus* Dunn, 1970

*Neognathodus bassleri* Harris & Hollingsworth, 1933

*Neognathodus atokaensis* Grayson, 1984

*Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972

*Neognathodus roundyi* Gunnell, 1931

*Neognathodus bothrops* Merrill, 1972

*Neognathodus* spp.

Família CAVUSGNATHIDAE Austin & Rhodes, 1981

Gênero *Adetognathus* Lane, 1967

*Adetognathus lautus* Gunnell, 1933

Família SWEETHOGNATHIDAE Ritter, 1986

Gênero *Diplognathodus* Kozur & Merrill, 1975

*Diplognathodus orphanus* Merrill, 1973

*Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic, 1965

*Diplognathodus ellesmerensis* Bender, 1980

Família ANCHIGNATHODONTIDAE Clark, 1972

Gênero *Hindeodus* Rexroad & Furnish, 1964

*Hindeodus minutus* Ellison, 1941

Gênero *Ubinates* Baesemann, 1998

*Ubinates advena*, Baesemann, 1973

Família SPATHOGNATHODONTIDAE Hass, 1959

Gênero *Rhachistognathus* Dunn, 1966

*Rhachistognathus muricatus* Dunn, 1965

**Ordem PRIONIODINIDA Sweet, 1988**

Família PRIONIODINIDAE Bassler, 1925

Gênero *Idioprioniodus* Gunnell, 1933

*Idioprioniodus* spp.

Família GONDOLELLIDAE Lindström, 1970

Gênero *Gondolella* Stauffer & Plummer, 1932

*Gondolella* sp.

Família ELLISONIIDAE Clark, 1972

Gênero *Ellisonia* Müller, 1956

*Ellisonia latilaminata* von Bitter & Merrill, 1983

*Ellisonia conflexa* Ellison, 1941

## Ordem OZARKODINIDA Dzik, 1976

Família IDIOGNATHODONTIDAE Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero *Idiognathodus* Gunnell, 1931

[*I. claviformis*; OD] [= *Scottognathus* Rhodes, 1953a (*partim*), *nom subst. pro Scottella* Rhodes, 1952, *non* Enderlein, 1910, a dipteran]

Espécie-tipo *Idiognathodus claviformis* Gunnell, 1931

**Diagnose:** Aparelho seximembrado ou septimembrado. Elemento *Pa* scaphate, *Pb* angulate, *M* dolabrate, *Sa* alate, *Sb* bipennate, *Sc* bipennate. O elemento *Pa* apresenta lamina livre longa com, no mínimo metade do comprimento do elemento. A carena é parcial ou completamente suprimida. As costelas transversais são bem desenvolvidas principalmente na porção posterior da superfície oral e não apresenta depressão mediana.

### *Idiognathodus incurvus* Dunn, 1966

Figs. 16.1 e 16.2

- 1932-*Idiognathodus expansus* Stauffer & Plummer: p. 46, pl. 4, fig. 1;  
 1941-*Streptognathodus cancellosus* Gunnell. Ellison & Graves: pl. 3, fig. 18;  
 1941-*Idiognathodus sinuosus* Ellison & Graves: p. 6, pl. 3, fig. 22;  
 1966-*Idiognathodus incurvus* Dunn: p. 1301, pl. 158, fig. 2 e 3;  
 1967-*Idiognathodus delicatus* Gunnell. Koike: p. 304, 305, pl. 2, fig. 18-23;  
 1971-*Idiognathodus delicatus* Gunnell. Merrill & King: p. 658, pl. 76, fig. 13-21;  
 1975-*Idiognathodus delicatus* Gunnell. Merrill: p. 63, fig. 17: 58-62;  
 1981-*Idiognathodus delicatus* Gunnell. Landing & Wardlaw: p. 1260, pl. 2, fig. 4;  
 1981-*Idiognathodus antiquus* Stauffer & Plummer. Mendez & Menendez-Alvarez: pl. 3, fig. 3: 8;  
 1984-*Idiognathodus delicatus* Gunnell. Grayson: p. 49, pl. 1, figs. 1, 2; pl. 3, figs. 2, 23; pl. 4, fig. 7, 8, 17;  
 1984-*Idiognathodus* n. sp. Grayson: p. 49, pl. 1, fig. 15;  
 1984-*Idiognathodus delicatus* Gunnell. Grubbs: p. 69, pl. 1, fig. 5-7;  
 1984-*Idiognathodus* sp. A Grubbs: p. 69, pl. 1, fig. 12-15;  
 1984-*Streptognathodus* sp. aff. *S. wabaunsensis* Gunnell. Grubbs: p. 71, 72, pl. 1, fig. 8-11;  
 1989-*Idiognathodus incurvus* Dunn. Grayson *et al.*: p. 87, 88, pl. 1, fig. 21-25;  
 1989-*Idiognathodus claviformis* Gunnell. Grayson *et al.*: p. 88-90, pl. 1, fig. 14, 20, 27; pl. 2, fig. 32, 36;  
 1990-*Idiognathodus delicatus* Gunnell. Lemos: p.30, est. 5, figs. 6a, 6b; est. 13, figs. 9a, 9b;  
 1990-*Streptognathodus elegantulus* Stauffer & Plummer. Lemos: p. 66, est. 8, fig 1;

- 1990-*Streptognathodus elongatus* Gunnell. Lemos: p. 69, est. 11, figs. 1, 2;  
 1990-*Streptognathodus parvus* Dunn. Lemos: p. 62, est. 8, figs. 3-5;  
 1990-*Streptognathodus expansus* (Igo & Koike). Lemos: p. 65, est. 2, figs. 7, 8; est. 5, figs. 4, 5; est. 14, figs. 4, 5;  
 1990-*Idiognathodus incurvus* Dunn. Grayson: pl. 4, figs. 4-6;  
 1990-*Idiognathodus suberectus* Dunn. Lemos: p. 58, est. 5, fig. 7; est. 8, fig. 2;  
 1990-*Idiognathodus delicatus* Gunnell. Lemos: p. 50, est. 5, figs. 6a, 6b; est. 6, fig. 8; est. 7, figs. 2, 4-7; est. 13, fig. 9;  
 1990-*Idiognathodus magnificus* Stauffer & Plummer. Lemos: p. 55, est. 7, fig. 1;  
 1990-*Idiognathodus ellisoni* Clark & Behnken. Lemos: p. 61, est. 10, figs. 1-5;  
 1992-*Idiognathodus delicatus* Dunn. Lemos: p. 126, fig. 8;  
 1996-*Idiognathodus delicatus* Gunnell. Neis: p. 29, est. I, figs. 1, 2, 5, 6; est. VI, figs. 1-8; est. IX, fig. 3, 7, 9;  
 1996-*Idiognathodus claviformis* Gunnell. Neis: p. 48, est. I, fig. 3, 4;  
 1999-*Idiognathodus incurvus* Dunn. Scomazzon: p. 48, est. III, figs. 1-9;  
 1999-*Idiognathodus sinuosus* Ellison & Graves. Scomazzon: p. 47, est. IV, figs. 1-6;  
 1999-*Idiognathodus magnificus* Stauffer & Plummer. Scomazzon: p. 45, est. V, fig. 4;  
 1999-*Idiognathodus claviformis* Gunnell. Scomazzon: p. 43, est. V, figs. 1-4;  
 1999-*Idiognathodus klapperi* Lane *et al.*. Scomazzon: p. 51, est. V, fig. 6;  
 2005-*Idiognathodus incurvus* Dunn. Nascimento *et al.*: fig. 3a, 3c, 3f.

**Descrição:** O elemento *Pa* possui plataforma alongada, com final posterior pontiagudo e suavemente inclinada para dentro. A lâmina livre se une à plataforma, em posição mediana e se continua como carena. A margem interna da plataforma possui lobo acessório com, em média, quatro a sete nódulos e a margem externa, por vezes, apresenta o lobo acessório delgado, com aproximadamente três nódulos. Presença de oito a doze costelas transversais que se estendem de uma margem a outra, por vezes descontínuas no final posterior.

Em vista lateral, a plataforma é suavemente convexa anteriormente e côncava posteriormente. A cavidade basal é assimétrica, profunda e centrada abaixo da porção mediana da plataforma.

**Discussão:** *Idiognathodus incurvus* pertence a um complexo de morfotipos que abrange *I. claviformis* e *I. sinuosus*. Difere do primeiro por ter um final posterior pontiagudo, costelas adcarinais paralelas e próximas à carena e maior variação morfológica dos lobos acessórios, conforme também observado em Scomazzon (1999).

A caracterização de *Idiognathodus incurvus* em Grayson *et al.* (1989) difere daquela de Dunn (1966) (descrição original desta espécie), sendo a descrição de Grayson *et al.* (1989) mais ampla, para incluir os exemplares do Pensilvaniano médio, dos quais a maioria dos elementos *Pa* exibe a característica diagnóstica que é a extensão anterior das costelas adcarinais, tenham ou não depressão mediana e/ou carena.

As características observadas nos espécimes analisados são variáveis, contudo esta variação se encaixa no modelo de morfotipos, assim optou-se por estabelecer os espécimes observados como morfotipos de *I. incurvus*, utilizando informações de Dunn (1966), Grayson *et al.* (1989) e Scomazzon (1999).

**Elementos encontrados:** 490 elementos *Pa*.

**Material estudado:** TAPCX, TAPTV, Pedreiras 1, 2 e 3.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Atokano – Desmoinesiano inferior.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

### **Ordem OZARKODINIDA Dzik, 1976**

Família IDIOGNATHODONTIDAE Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero *Idiognathoides* Harris & Hollingsworth, 1933

[*I. sinuata*; OD] [*Polygnathodella* Harlton, 1933; *Declinognathodus* Dunn, 1966;

*Oxignathus* Ellison, 1972]

**Espécie-tipo** *Idiognathoides sinuata* Harris & Hollingsworth, 1933

**Diagnose:** Aparelho seximembrado. Elemento pectiniforme *scaphate*, com lâmina medial ou lateral que possui quase a metade do comprimento do elemento, em alguns se continuando como carena deflexionada mergulhando com o parapeito ou terminando contra ele. A superfície oral possui parapeitos com costelas transversais e uma depressão mediana.

***Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth, 1933**

Fig. 16.3

- 1933-*Idiognathoides sinuata* Harris & Hollingsworth: p. 201, pl. 1, fig. 14;  
 1933-*Idiognathoides corrugata* Harris & Hollingsworth: p. 202, pl. 1, fig. 7, 8a-b;  
 1941-*Cavusgnathus sinuata* Harris & Hollingsworth. Ellison & Graves: p. 5, pl. 3, fig. 1, 5, 7;  
 1941-*Polygnathodella attenuata* Harris & Hollingsworth. Ellison & Graves: p. 8, pl. 3, fig. 11, 13;  
 1941-*Polygnathodella convexa* Ellison & Graves: p. 9, pl. 3, fig. 10, 12;  
 1941-*Polygnathodella ouachitensis* Harlton. Ellison & Graves: p. 10, pl. 3, fig. 8, 9;  
 1964-*Gnathodus opimus* Igo & Koike: p. 189, pl. 28, fig. 18;  
 1967-*Idiognathoides sinuata* Harris & Hollingsworth. Lane: p. 937, pl. 119, fig. 1-4, 9, 12-15, pl. 123, fig. 7, 8, 12;  
 1967-*Idiognathoides corrugata* Harris & Hollingsworth. Lane: p. 939, pl. 122, fig. 1, 2, 4-7, 9-11;  
 1968-*Idiognathoides convexa* Ellison & Graves. Higgins & Bouckaert: p. 39, pl. 4, fig. 3;  
 1968-*Idiognathoides attenuata* Harris & Hollingsworth. Higgins & Bouckaert: p. 39, pl. 4, fig. 10;  
 1968-*Idiognathoides corrugata* Harris & Hollingsworth. Higgins & Bouckaert: p. 39, pl. 5, fig. 9;  
 1968-*Idiognathoides sinuata* Harris & Hollingsworth. Higgins & Bouckaert: p. 40, pl. 4, fig. 5, 8, 9; pl. 5, fig. 11;  
 1969-*Gnathodus opimus* Igo & Koike. Webster: p. 33, pl. 5, fig. 20, 21;  
 1970a-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Dunn: p. 335, pl. 63, fig. 14, 15, 22, 23;  
 1970a-*Idiognathoides corrugatus* Harris & Hollingsworth. Dunn: p. 335, pl. 63, fig. 16-18, 25  
 1971-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Lane & Straka, in Lane *et al.*: pl. 1, fig. 12, 14;  
 1971-*Idiognathoides corrugatus* Harris & Hollingsworth. Lane & Straka, in Lane *et al.*: pl. 1, fig. 13;  
 1974-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Lane & Straka: p. 88, 89, fig. 37: 14, 15, 18, 20, 23-26, 36, fig. 41: 1-4, 20-27;  
 1984-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Grayson: p. 49, pl. 4, figs. 3, 13, 14, 19, 20;  
 1984-*Idiognathoides ouachitensis* Harlton. Grayson: p. 50, pl. 3, figs. 13, 15; pl. 4, figs. 2, 5;  
 1984-*Idiognathoides convexus* Ellison & Graves. Grayson: p. 50, pl. 4, fig. 9, 15;  
 1984-*Idiognathoides corrugatus* Harris & Hollingsworth. Grayson: p. 51, pl. 4, fig. 4, 10;  
 1984-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Grubbs: p. 67, pl. 2, fig. 1-4;  
 1984-*Idiognathoides convexus* Ellison & Graves. Grubbs: p. 70, pl. 2, fig. 5-8;  
 1984-*Idiognathoides ouachitensis* Harlton. Grubbs: p. 67, pl. 2, figs. 9-13;  
 1984-*Idiognathoides convexus* Ellison & Graves. Manger & Shuterland: p. 117, pl. 1, fig. 11, 12;  
 1984-*Idiognathoides ouachitensis* Harlton. Manger & Shuterland: p. 117, pl. 1, fig. 15;  
 1986-*Oxinagnathus corrugatus* Harris & Hollingsworth. Rocha-Campos & Archangelsky: p. 280, pl. 5, fig. 21;  
 1990-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Grayson: pl. 4, fig. 29-33;  
 1990-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Lemos: p. 39, est. 3, figs. 3a, 3b, 4a, 4b; est. 4, fig. 1, 4; est. 5, fig. 3, 8; est. 9, fig. 1-8; est. 14, fig. 2;  
 1990-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Whiteside & Grayson: p. 158, pl. 1, fig. 8, 25-27;

- 1992-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Sutherland & Grayson: pl. 2, fig. 3;  
 1992-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Lemos: p. 124, Lâmina 2, figs 1-8;  
 1992-*Declinognathodus noduliferus* Dunn Lemos: p. 126, lâmina 3, figs. 1-3, 6, 7;  
 1994-*Idiognathoides corrugatus* Harris & Hollingsworth. Nemirovskaya & Alekseev: pl. 1, fig. 11, 13, 15;  
 1994-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Nemirovskaya & Alekseev: pl. 1, fig. 14;  
 1994-*Idiognathoides fossatus* Branson & Mehl. Nemirovskaya & Alekseev: pl. 2, fig. 4;  
 1996-*Idiognathoides ouachitensis* Harlton Neis: p. 41, pl. 3, fig. 2-5;  
 1996-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Neis: p. 38, pl. 5, fig. 1-5;  
 1996-*Idiognathoides marginodosus* Grayson. Neis: p. 42, est. III, fig. 1, 6; est. V, figs. 6, 7;  
 1996-*Idiognathoides ouachitensis* Harlton. Neis: p. 41, est. III, figs. 2-5;  
 1996-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Neis: p. 29, est. V, figs. 1-5;  
 1999-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Scmazzon: p. 57, est. I, figs. 6-7;  
 1999-*Declinognathodus noduliferus* Dunn. Scmazzon: p. 60, est. I, figs. 1-3;  
 2005-*Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth. Nascimento *et al.*: fig 2b.

**Descrição:** A lâmina livre tem o mesmo comprimento da plataforma e se encontra com esta, no lado direito ou no esquerdo, conforme a posição do elemento seja esquerda ou direita. Possui em torno de sete dentículos comprimidos, estando o maior dentículo localizado anteriormente.

A plataforma é alongada, com maior largura no centro do espécime. Possui uma depressão mediana com comprimento variável, podendo ou não alcançar o final posterior. As margens da plataforma são ornamentadas por nódulos e 14 a 17 costelas transversais que se estendem até o assoalho do sulco longitudinal. O parapeito interno é suavemente inclinado para dentro e o parapeito externo é suavemente elevado em relação ao interno e levemente côncavo. Observa-se normalmente a presença de abas laterais em espécimes adultos.

Em vista lateral, a plataforma é angulosa. A cavidade basal é longa, assimétrica, mais profunda no terço anterior, se continuando com sulco raso na porção aboral da lâmina livre.

**Discussão:** Não foi observada a presença de outros morfótipos de *Idiognathoides* além de *Idiognathoides sinuatus* neste estudo. Elementos de *Idiognathoides ouachitensis* descritos por Harlton (1933) foram encontrados em trabalhos anteriores por Neis (1996) e Scmazzon (1999; 2004).



**Elementos encontrados:** 204 elementos *Pa.*

**Material estudado:** Pedreiras 1, 2 e 3.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Morrowano inferior – Desmoinesiano inferior.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

### **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

**Diagnose:** Aparelho seximembrado ou septimembrado. Elemento pectiniforme scaphate com 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; a cavidade basal é larga, profunda e assimétrica.

### ***Neognathodus bassleri* Harris & Hollingsworth, 1933**

Fig. 16.6

1933-*Polygnathus bassleri* Harris & Hollingsworth: p. 198, pl. 1, figs. 13a-e;

1941-*Gnathodus wapanuckensis* Harlton. Ellison & Graves: pl. 2, fig. 15;

1967-*Gnathodus bassleri bassleri* Harris & Hollingsworth. Lane: p. 935, pl. 120, figs. 1, 3-5, 9-12, 15; pl. 123, figs. 1-6;

1971-*Gnathodus bassleri bassleri* Harris & Hollingsworth. Lane *et al.*: pl. 1, figs. 9, 10;

1970-*Neognathodus bassleri* Harris & Hollingsworth. Dunn: p. 336, pl. 64, fig. 13;

1974-*Neognathodus bassleri bassleri* Harris & Hollingsworth. Lane & Straka: p. 95, fig. 37: 16, 17, 19, fig. 42: 17-24;

1990-*Neognathodus bassleri* Harris & Hollingsworth. Lemos: p. 72, est. 5, fig. 2; est. 11, figs. 6, 7.

**Descrição:** A lâmina livre não se acha preservada em nenhum dos espécimes encontrados, esta se encontra com a plataforma em posição mediana e 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 proeminentes costelas que se estendem até o sulco medial. O parapeito interno é mais paralelo à carena, enquanto que 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, 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.

Merrill & King (1971) observaram que tais características diagnósticas de *N. bassleri* geram confusão tornando esta espécie homeomórfica de *Streptognathodus*. *Neognathodus bassleri* apresenta margens nodosas na plataforma interna e externa assim como em *N. bothrops*, porém neste último, as margens nodosas estão fusionadas na porção final posterior da carena.

**Elementos encontrados:** 5 elementos *Pa.*

**Material estudado:** TAPCX, TAPTV e Pedreira 2.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Morrowano-Desmoinesiano.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa.

***Neognathodus atokaensis* Grayson, 1984**

Fig. 16.8

1941-*Gnathodus wapanuckensis* Harlton. Ellison & Graves: pl. 2, fig. 14;  
 1967-*Streptognathodus colombiensis* Stibane: p. 336, pl. 365, fig. 3, 6-8;  
 1969-*Gnathodus bassleri* Harris & Hollingsworth. Webster: p. 29, pl. 5, fig. 15a, b;  
 1970-*Neognathodus bassleri* Harris & Hollingsworth. Dunn: p. 336, pl. 64, fig. 14;  
 1971-*Gnathodus bassleri bassleri* Harris & Hollingsworth. Lane *et al.*: pl. 1, fig. 30;  
 1971-*Gnathodus bassleri symmetricus* Lane. Lane *et al.*: pl. 1, fig. 29.

**Descrição:** A lâmina livre possui de quatro a seis denticulos. Encontra-se com a plataforma em posição mediana e continua como carena nodosa até final posterior. Em vista lateral o parapeito externo é 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 *Neognathodus bassleri* por ter um parapeito mais elevado que o outro e ser mais arredondado no contorno geral. Segundo Grayson (1984) esta espécie pode representar um estágio de transição entre *N. bassleri* e seu descendente, *Neognathodus bothrops*.

**Elementos encontrados:** 15 elementos *Pa*.

**Material estudado:** TAPTV, TAPCX, Pedreiras 2 e 3.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Atokano.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, Sul e Europa.

***Neognathodus medadultimus* Merrill, 1972**

Fig. 16.5

- 1965-*Gnathodus roundyi* Gunnell. Murray & Chronic: p. 598, pl. 71, fig. 1, 2;  
 1967-*Gnathodus* cf. *roundyi* Gunnell. Koike: p. 299-300, pl. 1, fig. 27, 28;  
 1967-*Streptognathodus colombiensis* Stibane: p. 336, pl. 36, figs. 3-5;  
 1967-*Gnathodus bassleri bassleri* Harris & Hollingsworth. Lane: p. 935, pl. 120, fig. 1, 3-5, 9-12, 15; pl. 123, figs. 1-6;  
 1971-*Gnathodus* n. sp. B Merrill. Lane *et al.*: p. 409, pl. 1, fig. 21.  
 1971-*Neognathodus bassleri bassleri* Harris & Hollingsworth. Merrill & King: p. 659, pl. 76, figs. 11, 12;  
 1971-*Neognathodus* n. sp. C Merrill & King: p. 660, pl. 76, fig. 5, 6;  
 1972b- *Neognathodus medadultimus*. Merrill, p. 824, pl.1, figs. 2-7, pl. 2, fig. 19;  
 1990a-*Neognathodus medadultimus* Merrill. Lemos: p. 75, pl. 14, fig. 3;  
 1990-*Neognathodus medadultimus* Merrill. Lemos: p. 75, est. 11, fig. 3; est. 14, fig. 3;  
 1999-*Neognathodus medadultimus* Merrill. Scmazzon: p .62, est. II, fig. 6-8.

**Descrição:** As lâminas livres normalmente não estão bem preservadas, mas observa-se que estas encontram 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. Em cinco espécimes a carena se une ao parapeito sem que haja fusão completa entre ambos, uma nítida separação entre os nódulos do parapeito e os da carena podem ser observados nestes espécimes.

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:** 31 elementos *Pa*.

**Material estudado:** TAPCX, TAPTV, Pedreira 1 e 2.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Morrowano – Desmoinesiano.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

### *Neognathodus roundyi* Gunnell, 1931

Fig. 16.7

- 1931-*Gnathodus roundyi* Gunnell: p.249, pl. 29, fig. 19, 20;  
 1941-*Gnathodus roundyi* Gunnell. Ellison: p. 138, pl. 23, fig. 23, 25-28;  
 1971-*Gnathodus roundyi* Gunnell. Lane *et al.*: p. 409, pl. 1, fig. 34;  
 1970-*Neognathodus roundyi* Gunnell. Dunn: p. 336-337, pl. 64, fig. 2, 3;  
 1971-*Neognathodus roundyi* Gunnell. Merrill & King: p. 660, pl. 76, fig. 2-4;  
 1972-*Neognathodus roundyi* Gunnell. Merrill: p. 826, pl. 2, fig. 11-26;  
 1990-*Neognathodus roundyi* Gunnell. Lemos: p. 77, est. 7, fig. 3;  
 2005-*Neognathodus roundyi* Gunnell. Nascimento *et al.*: fig. 2d, 2e, 2h.

**Descrição:** Em vista oral a lâmina livre é alta e tem dentículos mais altos no terço anterior. Esta possui quatro a seis dentículos que se encontram com a plataforma em posição mediana e se continua como carena fusionada até o final posterior. A plataforma possui um parapeito interno com somente um único nódulo ou costelas transversais e se continua paralelo à carena até o final posterior. A plataforma é lanceolada em vista superior. 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:** 13 elementos *Pa.*

**Material estudado:** TAPTV e Pedreira 2.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Atokano-Desmoinesiano.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

### *Neognathodus bothrops* Merrill, 1972

Fig. 16.4

- 1965-*Gnathodus roundyi* Gunnell. Murray & Chronic: p. 598, pl. 71, fig. 3, 4;  
 1967-*Streptognathodus colombiensis* Stibane: p. 336, pl. 36, fig. 1, 2, 4, 5, 9, 10;  
 1969-*Gnathodus bassleri* Harris & Hollingsworth. Webster: p. 29, pl. 5, fig. 9a-c;  
 1970-*Neognathodus roundyi* Gunnell. Dunn: p. 336, pl. 64, fig. 4;  
 1972-*Neognathodus bothrops* Merrill: p. 823, pl. 1, fig. 8-15;  
 1975-*Neognathodus bothrops* Merrill: p. 69, fig. 17:63, 64, 66;  
 1996-*Neognathodus bothrops* Merrill. Neis: p. 59, est. IV, fig. 1-4.

**Descrição:** Plataforma com parapeitos elevados, ornamentada por nódulos e costelas transversais separados da carena por uma depressão mediana. Carena subcentral fusionada que se estende até o final posterior. Sulcos adcarinais profundos. Em vista aboral a cavidade basal é assimétrica e mais profunda abaixo da plataforma. Em algumas espécies de *N. bothrops*, a fileira interna resulta de um modelo radial em forma de leque, composta por uma série de nódulos arredondados a ligeiramente comprimidos. A carena termina no final posterior e os parapeitos apresentam-se tão ou mais altos que a carena.

**Discussão:** Conforme a descrição original de Merrill (1972), esta espécie é diferenciada de *N. bassleri* por ter uma carena fusionada e parapeitos altos e largos, com nódulos ou costelas transversais bem desenvolvidos. Grayson (1984) acredita que a carena nodosa ou fusionada é um caráter ecologicamente controlado e não deve ser empregada na descrição taxonômica. Contudo, Merrill (1999) considera que *N. bothrops* faça parte de um complexo de morfotipos no quais as alterações morfológicas da carena e dos parapeitos sejam suficientes para caracterizar diferentes espécies.

Os 5 espécimes estudados apresentam a lâmina livre quebrada, entretanto sendo possível identificar as características apontadas por Merrill (1972).

**Elementos encontrados:** 5 elementos *Pa.*

**Material estudado:** TAPTV e Pedreira 2.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Morrowano – Desmoinesiano.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa.

### *Neognathodus* spp.

**Descrição:** Os elementos estão com suas lâminas livres quebradas em diferentes pontos que impedem a visualização do local exata de união com a plataforma. A altura dos parapeitos em relação à carena também não pode ser determinada em razão de muitas vezes haver fraturas em sua porção basal causando desnível na altura do elemento.

**Discussão:** Os espécimes estão quebrados na porção posterior da plataforma e a porção preservada não apresenta característica de *N. medadultimus*. Os parapeitos não são simétricos, porém a irregularidade na altura dos mesmos não pode ser verificada por fraturas na porção aboral. Não foi possível determinar também se a carena se encontra fusionada na junção posterior do elemento. Assim, na falta de outras características optou-se por manter esses elementos em nomenclatura aberta.

**Elementos examinados:** 49 elementos *Pa.*

**Material estudado:** TAPTV, Pedreiras 1 e 2.

FAMILIA: CAVUSGNATHIDADE Austin & Rhodes, 1981

Gênero *Adetognathus* Lane, 1967

[*Cavusgnathus lautus* Gunnell, 1933; OD]

**Espécie-tipo** *Cavusgnathus lautus* Gunnell, 1933

**Diagnose:** O gênero *Adetognathus* inclui espécies com classe de simetria II e IIIb e a plataforma tem uma depressão longitudinal mediana e profunda por todo seu comprimento. A carena, se desenvolvida, é muito mais curta que a lâmina livre. Esta por sua vez, é mais alta anteriormente.

***Adetognathus lautus* Gunnell, 1933**

Fig. 16.25

- 1933-*Cavusgnathus lautus* Gunnell: p. 286, pl. 31, fig. 67, 68; pl. 33, fig. 9;  
 1933-*Cavusgnathus gigantus* Gunnell: p. 286, pl. 33, fig. 7, 8;  
 1933-*Cavusgnathus missouriensis* Gunnell: p. 286, pl. 33, fig. 10, 11;  
 1941-*Cavusgnathus lauta* Gunnell. Ellison: p. 126, pl. 21, fig. 47, 48;  
 1941-*Cavusgnathus gigantea* Gunnell. Ellison: p. 126, pl. 21, figs. 44, 45, 49;  
 1941-*Cavusgnathus flexa* Ellison: p. 126, pl. 21, fig. 42, 43, 46;  
 1941-*Cavusgnathus gigantea* Gunnell. Ellison & Graves: pl. 3, fig. 3;  
 1949-*Cavusgnathus gigantea* Gunnell. Youngquist & Downs: p. 162, pl. 30, fig. 18-20;  
 1952-*Cavusgnathus gigantea* Gunnell. McLaughlin: p. 620, pl. 83, fig. 3, 4, 6, 7;  
 1967-*Cavusgnathus unicornis* Youngquist & Miller. Stibane: p. 333, taf. 35, fig. 1-5;  
 1967-*Cavusgnathus* cf. *regularis* Youngquist & Miller. Stibane: p. 333, taf. 35, fig. 6, 7;  
 1967-*Cavusgnathus regularis* Youngquist & Miller. Stibane: p. 333, taf. 35, fig. 8-10, 14-19;  
 1967-*Cavusgnathus unicornis* Youngquist & Miller. Koike: p. 294, 295, pl. 1, fig. 2, 3;  
 1967-*Cavusgnathus* sp. A Koike: p. 295, pl. 1, fig. 4 a, 4b;  
 1967-*Cavusgnathus* sp. Koike: pl. 1, fig. 5;  
 1967-*Adetognathus gigantea* Gunnell. Lane: p. 931, pl. 120, fig. 16, 18, 19; pl. 121; fig. 8, 12, 13, 16;  
 1967-*Adetognathus lauta* Gunnell. Lane: p. 933, pl. 121, fig. 1-5, 7, 10, 11, 14, 15, 17, 18;  
 1967-*Adetognathus* sp. Lane: p. 934, pl. 122, fig. 3, 8;  
 1969-*Cavusgnathus gigantus* Gunnell. Webster: p. 26, pl. 4, fig. 6a-b;  
 1969-*Cavusgnathus lautus* Gunnell. Webster: p. 28, pl. 4, fig. 9a-b;



- 1970a-*Adetognathus gigantus* Gunnell. Dunn: p. 325, pl. 61, fig. 2, 3;  
 1970a-*Adetognathus spathus* Dunn. Dunn: p. 327, pl. 61, fig. 11;  
 1970a-*Adetognathus lautus* Gunnell. Dunn: p. 327, pl. 61, fig. 1, 4;  
 1970a-*Adetognathus inflexus* Dunn: p. 327, pl. 61, fig. 8-10, 15, 16;  
 1979-*Cavusgnathus lautus* Gunnell. Campanha & Rocha-Campos: p. 61, 62, pl. 1, fig. 1, 2;  
 1979-*Cavusgnathus gigantus* Gunnell. Campanha & Rocha-Campos: p. 61, 62, pl. 1, fig. 10-12;  
 1980-*Adetognathus lautus* Gunnell. Tynan: p. 1292, pl. 2, fig. 12, 13, 20-22;  
 1990-*Adetognathus lautus* Gunnell. Lemos: p. 32, est. 1, fig. 1-9; est. 13, figs. 5-8;  
 1992-*Adetognathus lautus* Gunnell. Lemos: p. 120, lâm. 1, figs. 1-9;  
 1996-*Adetognathus lautus* Gunnell. Neis: p. 29, est. VII, figs. 1-4, 6;  
 1999-*Adetognathus lautus* Gunnell. Scmazzone: p. 67, est. II, fig. 1;  
 2005-*Adetognathus lautus* Gunnell. Nascimento *et al.*: p. 197, est. 2J.

**Descrição:** Em vista superior, o elemento *Pa* tem a lâmina livre denticulada, onde o denticulo mais posterior tem o dobro do tamanho dos outros denticulos e se fixa ao lado direito da plataforma. A plataforma é longa, estreita, com margens ornamentadas por nódulos e suaves costelas transversais. A margem interna, por vezes, é sinuosa.

Em vista lateral a plataforma é suavemente arqueada. A cavidade basal é assimétrica e mais profunda no terço anterior da porção aboral da plataforma.

**Discussão:** Dos 90 espécimes estudados, formas direitas ou esquerdas, a maioria apresenta a lâmina livre preservada. Nestes, a margem interna é sinuosa e o denticulo posterior de maior tamanho. Para Lane (1967), esta forma foi considerada como *Adetognathus* sp. que somente difere de *Adetognathus gigantus* por ser sinuosa, sendo um morfotipo de *A. gigantus*. Porém, foram aqui incluídos em *A. lautus* de acordo com os critérios observados por Brown *et al.* (1991).

**Elementos encontrados:** 90 elementos *Pa*.

**Material estudado:** TAPCX, TAPTV, Pedreiras 1, 2 e 3.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Pensilvaniano (Morrowano) - Permiano (Sakmariiano).

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

Família SWEETHOGNATHIDAE Ritter, 1986

Gênero *Diplognathodus* Kozur & Merrill in Kozur, 1975

[*Spathognathodus coloradoensis* Murray & Chronic, 1965; OD]

**Espécie-tipo** *Spathognathodus coloradoensis* Murray & Chronic, 1965

**Diagnose:** Aparelho seximembrado ou septimembrado. Elemento *Pa scaphate*. Lâmina livre com mesmo comprimento da carena, parcial ou completamente fusionada a carena, na plataforma; cavidade basal de contorno subelíptico, com a porção mais profunda localizada atrás da lâmina livre; *Pb angulate*, *M dolabrate*, *Sa alate* com processo posterior bem desenvolvido e os elementos *Sb* e *Sc bipennate*.

***Diplognathodus orphanus* Merrill, 1973**

Fig. 16.14

1973-*Spathognathodus orphanus* Merrill: p. 309, pl. 3, figs. 45-56;

1973-*Spathognathodus ellisoni* Merrill: p. 305, pl. 1, figs. 17-22, 25-27;

1981-*Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Landing & Wardlaw: p. 1257, pl. 1, fig. 1, 2, 3, 6, 7, 9, 10;

1984-*Diplognathodus orphanus* Merrill. Grubbs: p. 69, pl. 1, fig. 4;

1990-*Diplognathodus orphanus* Merrill. Lemos: p. 84, est. 2, fig. 6; est. 6, fig. 4, 5; est. 13, fig. 11;

1992-*Diplognathodus orphanus* Merrill. Lemos: p. 127, est. 3, figs. 4, 5;

1992-*Diplognathodus orphanus* Merrill. Lemos & Medeiros: est. 1, figs. 5a, 5b; est. 6, figs. 4, 5;

1996-*Diplognathodus orphanus* Merrill. Neis: p. 64, est. VIII, fig. 1;

1999-*Diplognathodus orphanus* Merrill. Scmazzone: est. II, fig.4;

2005-*Diplognathodus orphanus* Merrill. Scmazzone & Lemos: p. 204, fig. 2c, 2d;

**Descrição:** em vista oral o elemento *Pa* é longo e pontiagudo no final posterior. O contorno da plataforma é elíptico e mais longo do que largo. A lâmina livre é alta, denticulada e com o dobro da altura da plataforma. Esta se continua na plataforma como uma carena fusionada e denticulada.

Em vista lateral o elemento é suavemente arqueado, duas vezes mais alto anteriormente que a porção posterior. A lâmina livre tem quatro dentículos, onde o mais alto está localizado na porção anterior da mesma.

A cavidade basal é assimétrica, mais expandida na porção externa, maior profundidade na porção anterior, se continuando como um sulco raso na porção aboral da lâmina livre.

**Discussão:** Merrill (1973) descreve originalmente *Diplognathodus orphanus* e faz algumas considerações a respeito desta nova espécie. Observa uma similaridade da localização da cavidade basal dos elementos de *D. orphanus* e aqueles de *Gnathodus commutatus*, porém em *D. orphanus* a cavidade basal é mais expandida. A denticulação e a forma desta cavidade seria semelhante a de alguns *Neognathodus pensilvanianos*, mas a filogenia deste gênero é bem conhecida e *D. orphanus* seria incompatível com a linha evolutiva de *Neognathodus*. Merrill (1975) sugeriu que um ancestral ainda desconhecido teria sido o precursor de *D. orphanus*, bem como do típico *D. coloradoensis*.

No material estudado foram encontrados 14 espécimes, ao qual o elemento *Pa* foi descrito como *D. orphanus* devido a características tais como: lâmina livre com um perfil lateral arqueado e a plataforma consistir de uma carena denticulada. Caracteres estes que diferenciam *D. orphanus* de *D. coloradoensis* que possui carena com suaves dentículos até não denticulada e não é arqueado lateralmente.

**Elementos encontrados:** 14 elementos *Pa*.

**Material estudado:** Pedreiras 2 e 3.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Atokano – Desmoinesiano inferior.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa, África.

***Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic, 1965**

Fig. 16.12

- 1965-*Spathognathodus coloradoensis* Murray & Chronic: p. 606-607, pl. 72, figs. 11-13;  
 1969-*Spathognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Webster: p. 44, pl. 7;  
 1973-*Spathognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Merrill: p. 304, pl. 3, figs. 20-42;  
 1975-*Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Merrill: p. 48-50, figs. 16: 40, 17:16;  
 1981-*Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Landing & Wardlaw: p. 1257-1259, pl. 1, figs. 4, 5, 8;  
 1990-*Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Lemos: p. 81, est. 4, fig. 2; est. 13, fig. 10; est. 14, fig. 1 ;  
 1992-*Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Lemos & Medeiros: est. 1, figs. 6a, 6b;  
 1996-*Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Neis: p. 61, est. VIII, fig. 2;  
 2005-*Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Scomazzon & Lemos: p. 204, fig. 2, 2B;  
 2005-*Diplognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Nascimento *et al.*: fig. 2K, 2L.

**Descrição:** Em vista lateral o elemento é, em geral, pequeno e arqueado. A lâmina livre possui quatro a seis dentículos de tamanho relativamente uniforme. A carena é aproximadamente metade do tamanho do elemento, não denticulada (espátula), separada da lâmina livre por um proeminente entalhe. A carena é mais baixa que a lâmina livre. Em vista aboral a cavidade basal é larga e simétrica, profunda bem abaixo da carena e se continua como sulco na porção aboral da lâmina livre.

**Discussão:** Os espécimes são distinguidos de *Diplognathodus orphanus* por possuírem uma carena não denticulada, lâmina livre com dentículos uniformes e mais baixos que os de *D. orphanus* e um entalhe proeminente na junção da lâmina livre a carena.

**Elementos encontrados:** 4 elementos *Pa*.

**Material estudado:** Pedreiras 1, 2 e 3.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Morrowano - Desmoinesiano.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa, África.

***Diplognathodus ellesmerensis* Bender, 1980**

Fig. 16.13

1980-*Diplognathodus ellesmerensis* Bender: p. 9-10, pl. 4, fig. 5-7, 11, 15-21, 23-25;

1984-*Diplognathodus orphanus* Merrill. Grubbs: p. 69, pl. 1, fig. 3;

2005-*Diplognathodus ellesmerensis* Bender. Scomazzon & Lemos: p. 205, fig. 2e, 2f.

**Descrição:** Em vista lateral o elemento é pequeno. A lâmina livre é duas vezes a altura da carena. Apresenta de quatro a cinco dentículos, onde o mais alto está localizado próximo à junção com a carena. Os dentículos da carena são baixos, Em geral o terceiro ou quarto dentículo é o mais alto. O final posterior é pontiagudo. Em vista aboral a cavidade basal é larga e simétrica, estendendo-se até aproximadamente metade da lâmina livre.

**Discussão:** *Diplognathodus ellesmerensis* é diferenciado de *D. orphanus* principalmente porque os dentículos da carena não estão fusionados, pelo final posterior pontiagudo e pelo denticulo mais posterior da lâmina livre que é mais alto e se inclina em direção à carena.

**Elementos encontrados:** 3 elementos *Pa*.

**Material estudado:** Pedreira 3.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Atokano.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa, África.

Família ANCHIGNATHODONTIDAE Clark, 1972

Gênero *Hindeodus* Rexroad & Furnish, 1964

**Espécie-tipo** *Spathognathodus cristula* Youngquist & Miller, 1949

**Diagnose:** Aparelho seximembrado. Elemento *Pa* scaphate, *Pb* angulate, *M* dolabrate ou digyrate com um processo lateral não denticulado, *Sa* alate, *Sb*, digyrate e *Sc* bipennate.

***Hindeodus minutus* Ellison, 1941**

Fig. 16.15

- 1941-*Spathodus minutus* Ellison: p. 120, figs. 50-52;  
 1941-*Spathognathodus minutus* Ellison Ellison & Graves: p. 3, pl. 2, figs. 1, 3, 5;  
 1964-*Spathognathodus minutus* Ellison. Igo & Koike: p. 188, pl. 9, figs. 16-18;  
 1964-*Spathognathodus echigoensis* Igo & Koike: p. 187, pl. 28, fig. 24;  
 1967-*Spathognathodus minutus* Ellison. Koike: p. 311, pl. 3, figs. 39-42;  
 1967-*Spathognathodus coloradoensis* Murray & Chronic. Koike: p. 310, pl. 3, figs. 23, 24;  
 1967-*Spathognathodus cristula* Youngquist & Miller. Stibane: p. 335, pl. 35, figs. 21-25;  
 1969-*Spathognathodus minutus* Ellison. Webster: p. 44, pl. 7, fig. 4;  
 1970-*Spathognathodus minutus* Ellison. Dunn: p. 339, pl. 61, figs. 27-30;  
 1973-*Spathognathodus minutus* Ellison. Merrill: p. 305-308, pl. 2, figs. 1-14; pl. 3, figs. 1-28;  
 1973-*Ozarkodina minutus* Ellison. Baesemam: p. 704-706, pl. 2, figs. 1-15, 19, 20;  
 1974-*Spathognathodus minutus* Ellison. Lane & Strata: p. 101, pl. 44, figs. 7-12;  
 1980-*Hindeodus minutus* Ellison. Merrill & Powell: pl. 1, figs. 36-44;  
 1990-*Hindeodus minutus* Ellison. Lemos: p. 87, est. 2, figs. 1, 2; est. 13, figs. 1-4;  
 1996-*Hindeodus minutus* Ellison. Neis: p. 66, est. VIII, figs. 3-7; est. IX, fig. 8;  
 2004-*Hindeodus minutus* Ellison. Scomazzon: p. 146, pl. 2, figs. 15-18;  
 2005-*Hindeodus minutus* Ellison. Nascimento *et al.*: fig. 2M.

**Descrição:** Em vista oral o elemento é largo, robusto e arqueado, denominado como cunha oral. O denticulo mais anterior é o mais alto, por vezes com uma forma subtriangular. Ao longo do elemento ocorrem seis a oito dentículos, parcialmente a não fusionados e relativamente do mesmo tamanho. O final posterior é pontiagudo. Em vista aboral a cavidade basal, ou cunha aboral, é côncava e mais profunda abaixo da porção posterior do elemento.

**Discussão:** Os elementos *Pa* de *Hindeodus* e *Diplognathodus* são superficialmente semelhantes e foram inicialmente descritos como pertencente ao mesmo gênero. Porém, atualmente sabe-se que os ancestrais que deram origem a estes dois táxons são distintos. Além disso, podem ser observadas diferenças morfológicas significativas tais como a presença de lâmina livre (região anterior) e carena (região posterior) em *Diplognathodus*. Enquanto *Hindeodus* é fortemente arqueado, descrito como uma cunha oral e aboral e não possui o entalhe característico de *Diplognathodus*.

**Elementos encontrados:** 31 elementos *Pa*.

**Material estudado:** TAPCX, Pedreiras 1, 2 e 3.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Carbonífero (Mississippiano) – Permiano (Artinskiano).

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul, Europa e Ásia.

Gênero *Ubinates* Baesemann & Purnell, 2000

**Espécie-tipo** *Aethotaxis advena* (Baesemann, 1973). Veja discussão da espécie em *U. advena*.

**Diagnose:** Aparato seximembrado, mas reduzido a quadrimembrados em espécies especializadas. *Pa* Scaphate com base ampla e expandida e lâmina livre anterior e curta, lisa sobre o lado superior em todas as espécies com aparatos seximembrados, apresentando denticulos, nódulos, ou sulcos transversos na maioria das espécies com aparatos unimembrados. Elemento *Pb* tipicamente arqueado e angulado, com processo anterior mais curto que o processo posterior. Elemento *M* digyrate; *Sa* alate, simétrico, com processo posterior na maioria das espécies, apresentando semelhança com algumas formas de *Sa* de *Apatognathus*, com processo lateral fortemente orientado para cima e posteriormente; *Sc* bipennate com duas formas

distinguidas pela flexão em 90° do processo anterior exatamente atrás da cúspide (Baesemann, 1973).

***Ubinates advena* Baesemann, 1973**

Fig. 16.16

1973-*Aethotaxis advena* Baesemann: p. 697, pl. 3, figs. 6,10,11-21;

2000-*Ubinates advena* Baesemann. Baesemann & Purnell: p. 544.

**Descrição:** Elemento *Sa* simétrico e bem preservado. Em vista lateral o processo é lateralmente comprimido. Uma cúspide maior em sua porção central, da qual partem tanto para a direita quanto para a esquerda fileiras de 4 a 6 pequenos dentículos. Posteriormente, nas extremidades se iniciam fileiras de 5 a 7 dentículos maiores. A cavidade basal é pequena e pouco profunda, porém expandida para o seu interior.

**Discussão:** Baesemann (1973) estabeleceu o gênero *Aethotaxis* para acomodar elementos conodontes com morfologia distinta do Pensilvaniano do nordeste do Kansas. A mudança do nome de *Aethotaxis* para *Ubinates* se deve a descoberta do uso prévio do nome por um peixe nototeniioideo (*Aethotaxis* DeWitt, 1962). Baesemann & Purnell propuseram o nome *Ubinates* que deriva do latim “*ubi*”, devido ao grupo ser pouco conhecido. Foi encontrado um único elemento *Sa* apresentando aspecto geral como o das feições descritas para *Ubinates* (Baesemann & Purnell, 2000).

**Elementos encontrados:** 1 elemento *Sa*.

**Material estudado:** Pedreira 2.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Carbonífero-Triássico. Pensilvaniano da América do Norte (Kansas) e Pensilvaniano (Atokano) da Bacia do Amazonas.

**Distribuição Paleobiogeográfica Mundial:** América do Norte, América do Sul.



Família SPATHOGNATHODONTIDAE Hass, 1959

Gênero *Rhachistognathus* Dunn, 1966

**Espécie-tipo** *Rhachistognathus primus* Dunn, 1966

**Diagnose:** Conodonte com o aparelho pouco conhecido, provavelmente seximembrado ou septimembrado. O elemento *Pa* é *scaphate*, com lâmina livre longa, lateralmente comprimida, juntando-se à plataforma na metade do comprimento do elemento. Plataforma lanceolada com parapeitos ou carena descontínua; parapeitos ou nódulos radiando para fora.

***Rhachistognathus muricatus* Dunn, 1965**

Figs. 16.23 e 16.24

- 1965-*Cavusgnathus muricata* Dunn: p. 1147, pl. 140, figs. 1, 4;  
 1966-*Cavusgnathus transitoria* Dunn: p. 1299, pl. 157, fig. 13. (non fig. 9 = *Rhachistognathus prolixus* Baeseman & Lane, 1985) ;  
 1968-*Idiognathoides minuta* Higgins & Bouckaert: p. 40, pl. 6, figs. 7-12;  
 1969-*Gnathodus muricatus* Dunn. Webster: p. 32-33, pl. 5, fig. 2, 3, 6 (non fig. 1, 4, 5, 7 (?); figs. 1, 4 = *Rhachistognathus prolixus* Baeseman & Lane, 1985; fig. 5, 7 (?) = Baeseman & Lane, 1985);  
 1970-*Rhachistognathus muricatus* Dunn. Dunn: p. 338, pl. 61, fig. 5-7;  
 1971-*Spathognathodus muricatus* Dunn. Lane *et al.*: pl. 1, fig. 1 (non fig. 2 = *Rhachistognathus primus*) ;  
 1974-*Rhachistognathus muricatus* Dunn. Lane & Straka: p. 97-98, figs 35:24, 30, 31 (non fig. 16-17 = espécies transicionais entre *R. muricatus* (Dunn) e *R. primus* Dunn) ;  
 1980-*Rhachistognathus muricatus* Dunn. Metcalf: p. 308, pl. 38, fig. 24, 25;  
 1980-*Rhachistognathus primus* Dunn. Tynan: p. 1304, pl. 1, fig. 24(?), 25, 26;  
 1980-*Rhachistognathus muricatus* Dunn. Tynan: p. 1303-1304, pl. 1, fig. 27;  
 1990-*Rhachistognathus muricatus* Dunn. Lemos: p. 36, est. 2, figs.3-5;  
 1996-*Rhachistognathus muricatus* Dunn. Neis: p. 29, est. IV, fig. 6;  
 1996-*Rhachistognathus muricatus* Dunn. Lemos & Medeiros: est. 1, figs. 2a, 2b, 3, 4;  
 1999-*Rhachistognathus muricatus* Dunn. Scomazzon: p. 65, est. II, fig. 3.

**Descrição:** Em vista superior o parapeito externo é reto na metade anterior da plataforma, suavemente convexo a curvado para fora próximo ao final posterior; parapeito interno reto a suavemente convexo; parapeitos compostos de dentículos afilados separados; dentículos do parapeito externo tendem a ser fusionados

na parte anterior da plataforma; uma única fileira de dois a quatro nódulos salientes localizados centralmente e em alguns espécimes estendendo-se a uma curta distância na cavidade mediana moderadamente profunda, continuando para o final posterior afilado da plataforma; lâmina reta, lateralmente comprimida e paralela ao sulco.

Em vista lateral a plataforma é moderadamente reta, margem superior do parapeito mostra denticulação em serra de altura aproximadamente constante. Os denticulos da lâmina alargam-se próximo ao final anterior, diminuindo em altura e tamanho em direção à junção da lâmina e plataforma; a lâmina constitui metade do comprimento do espécime.

Em vista inferior a cavidade basal é rasa, subsimétrica. O contorno é lanceolado com sulco mediano longitudinal.

**Discussão:** A ornamentação da superfície superior de *Rhachistognathus muricatus* é altamente variada. Segundo Baesemann & Lane (1985), o conceito de *R. muricatus* inclui espécimes com duas fileiras de nódulos ao longo das margens da plataforma e uma depressão entre elas. Em alguns espécimes, a porção anterior do parapeito esquerdo pode ter aparência de estrutura com costelas. Os nódulos podem ser arredondados ou irregulares. Mais de uma forma de nódulos pode estar presente em um espécime. A terminação posterior da plataforma consiste de uma fileira de nódulos que pode se conectar a ambos parapeitos, usualmente o direito, ou se estender até a depressão mediana. Espécimes transicionais entre *R. muricatus* e *R. primus* são de difícil classificação. Lane & Straka (1974) demonstraram que *R. muricatus* e *R. primus* são intergradacionais através de um morfotipo transicional, *R. transitorius*.

**Elementos encontrados:** 3 elementos *Pa.*

**Material estudado:** TAPTV.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Mississipiano superior (Neochesteriano) ao Pensilvaniano (Eo-atokano).

**Distribuição paleobiogeográfica mundial:** América do Norte, América do Sul.

**Ordem PRIONIODINIDA Sweet, 1988**

Família PRIONIODINIDAE Bassler, 1925

Gênero *Idioprioniodus* Gunnell, 1933**Espécie-tipo** *Idioprioniodus typus* Gunnell, 1933

**Diagnose:** Aparelho multielemental. Com elemento *Pa* e *Pb digyrate*, *M dolabrate* e os elementos *S* compõem uma série de transição simétrica (*Sa*, *Sb*, *Sc*) *alate*, *digyrate e bipennate*, com cúspide larga e processo curto e esparsamente denticulado.

***Idioprioniodus* spp.**

Figs. 16.9, 16.19 e 16.20

**Descrição:** O elemento *M* possui cúspide superior larga, porém quebrada. A cavidade basal tem a porção anterior arredondada e maior profundidade abaixo da cúspide superior.

**Discussão:** Embora a porção basal de dois dos elementos encontrados se assemelhem a um elemento *M* de *Idioprioniodus conjunctus* (von Bitter, 1972, pl. 12, fig. 3; Baesemann, 1973, pl. 3, fig. 1), o material está muito fragmentado, não apresentando cúspide preservada. Os outros dois elementos encontrados apresentam semelhança com *I. typus* (Gunnell, 1933, p.265, pl.31, fig. 47), no entanto, os processos não se encontram preservados e por isso optou-se por *Idioprioniodus* spp., que deve incluir essas duas espécies.

**Elementos encontrados:** 4 elementos *M*.**Material estudado:** Pedreira 2.

Família GONDOLELLIDAE Lindstrom, 1970

Gênero *Gondolella* Stauffer & Plummer, 1932

*Gondolella* Stauffer & Plummer, 1932:41

*Illinella* Rhodes, 1952:898

**Espécie-tipo** *Gondolella elegantula* Stauffer & Plummer, 1932

**Diagnose:** Gênero de conodonte com espécies com aparatos seximembrado um par de elementos *Pa* angulate, *Pb* e *M*, digyrate e séries de elementos de transição simétrica que incluem elementos *Sa*, alate e bilateralmente simétrico, com um longo e profusamente denticulado processo posterior, elementos *Sb* digyrate e *Sc* bipennate, normalmente com longos e delicados processos anterior e posterior (Sweet, 1988).

Os elementos *M* de *Gondolella* apresentam um par de elementos digyrate, com denticulos bem desenvolvidos. Cúspide longa, curvada posteriormente. Carena bem desenvolvida, afilada a ligeiramente arredondada formada pela expansão da cavidade basal. Cavidade basal e cavidade da margem do lado externo não são tão pronunciadas quanto à da margem interna. Quilha ausente sobre o lado externo, segundo von Bitter (1976) e von Bitter & Merrill (1980; 1998).

***Gondolella* sp.**

Figs. 16.10 e 16.11

**Descrição:** elemento *M* com carena e denticulos bem desenvolvidos. Cúspide longa e curvada posteriormente. Carena afilada e bem desenvolvida.

**Discussão:** Os elementos *M* de *Gondolella* encontrados nesse estudo se assemelham a elementos *M* de *Idioprioniodus*, porém possuem uma grande semelhança com a descrição e as ilustrações dos elementos *M* dos trabalhos de von Bitter (1976) e von Bitter & Merrill (1980; 1998).

**Elementos encontrados:** 2 elementos *M*.

**Material estudado:** Pedreira 2.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Pensilvaniano médio (Atokano) – Permiano.

**Distribuição paleobiogeográfica mundial do gênero:** Europa, Austrália, Ásia, Nova Zelândia, América do Norte, América do Sul.

Família ELLISONIDAE Clark, 1972

Gênero *Ellisonia* Muller, 1956

*Hadrodontina* Staesche, 1964:271

*Pachycladina* Staesche, 1964:277

*Stepanovites* Kosur, 1975:22

**Espécie-tipo** *Ellisonia* sp. cf. *Ellisonia triassica* Muller, 1956

**Diagnose:** Gênero com aparelho esquelético tipo B, consistindo de no mínimo dois tipos de elementos (*Sa* e *Sc*) podendo ser acrescido de três outros elementos (*Pb*, *M* e *Pa*). A morfologia dos elementos é caracterizada por ser extremamente massiva, dentículos espaçados, fortemente curvados, com tendência a eversão da cavidade basal (particularmente em *Sa* e *Sc*) de algumas espécies e presença de mínimas porções de matéria branca em determinadas espécies.

***Ellisonia conflexa* Ellison, 1941**

Figs. 16.21 e 16.22

1933-*Euprioniodina?* sp. Gunnell: p. 269, pl. 33, fig. 24;

1941-*Prioniodus? conflexus* Ellison: p. 114, pl. 20, fig. 25;

1972-*Delotaxis? conflexa* von Bitter: p. 72, pl. 12, figs. 1a-c; pl. 14, figs. 1a-c, 2a, b, 4a, b; pl. 16, figs. 1a-d;

1973-Elemento Unassigned B1 Baesemann: p. 708, pl. 1, fig. 1;

1973-*Magnilaterella* cf. *M. contraria* Rhodes *et al.* Baeseman: p. 708, pl. 1, fig. 2;

1980a-*Ellisonia* spp. Merrill: p. 196, 199, 201, figs. 2-26, 2-27;

?1980b-*Ellisonia* sp. Merrill: p. 195, pl. 7, figs. 10, 11;

1983-*Ellisonia conflexa* Ellison. von Bitter & Merrill: p. 18, pl. 3, figs. 1-23; pl. 4-6; pl. 7, figs. 2-36; pl. 8, figs. 1-4, 6, 12-15; pl. 9, figs. 1, 4-5, 14-16; pl. 10, figs. 12-14; pl. 11, figs. 1-3, 6-7; pl. 13, figs. 3-7, 10, 12, 13.

**Descrição:** Elemento *Sc* com cúspide central proeminente e curvatura acentuada, apresentando espaçamento entre a cúspide e o dentículo mais próximo. São observados seis dentículos de tamanhos diversos, alguns recurvados, outros retos, seguindo apenas a curvatura do elemento. Cavidade basal pouco profunda, longa, sinuosa e alargada, possuindo um sulco interno bem marcado. A estrutura externa do elemento é similar a dos conodontes neurodotes (von Bitter & Merrill, 1983).

**Discussão:** *Ellisonia* possui elementos com características semelhantes aos de *Idioproniodus*, tornando difícil à reconstrução dos respectivos aparelhos. Contudo, *Ellisonia* difere de *Idioproniodus* pela robustez de seus processos, pelo maior espaçamento entre os dentículos, por detalhes da cavidade basal, especialmente porque em *Idioproniodus* a cavidade basal nunca é evertida.

**Elementos encontrados:** 1 espécime do elemento *Sc*.

**Material estudado:** Pedreira 2.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Desmoinesiano médio a Virgiliano superior dos Apalaches. Bacia de Illinois, região do Midcontinent e Texas. Atokano na região de Itaituba, Bacia do Amazonas.

***Ellisonia latilaminata* von Bitter & Merrill, 1983**

Figs. 16.17 e 16.18

1983-*Ellisonia latilaminata* von Bitter & Merrill: p. 18, pl. 1; pl. 2; pl. 10, figs. 1-11; pl. 13, figs. 8, 9, 11.

**Descrição:** Cúspide central recurvada, cavidade basal evertida. Apresenta resquíio de um dentículo grande, além da cúspide. Não foi possível identificar se é um elemento *Sc* ou *Sa*, devido ao estado de preservação dos processos.

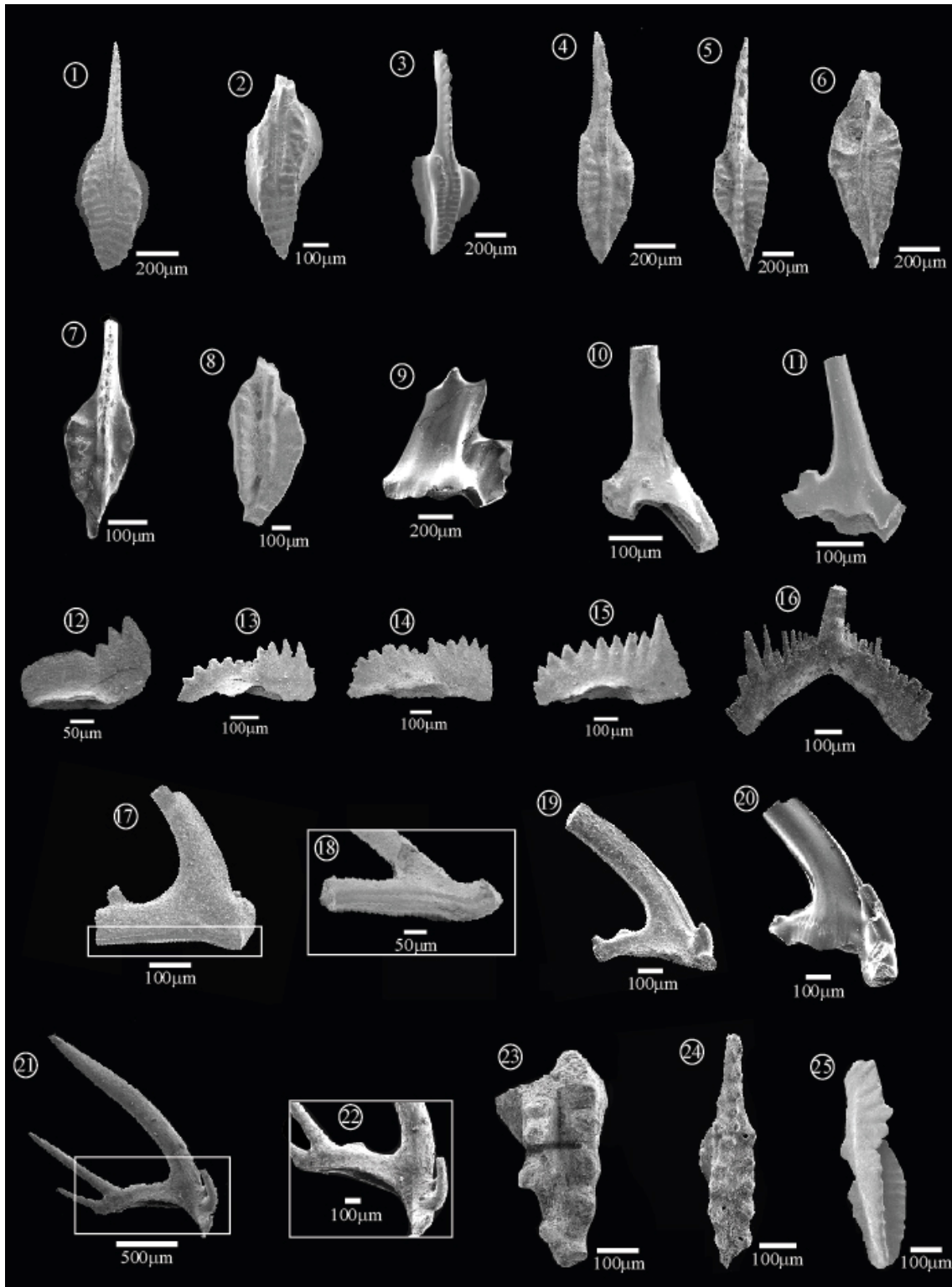
**Discussão:** Muitos ellisonídeos apresentam como principal característica a eversão (reversão da cavidade basal até seu completo fechamento) de sua cavidade basal, que em alguns gêneros se mostra completamente fechada ou retendo uma fossa basal ou resquíio do fechamento da cavidade basal.

As duas espécies de *Ellisonia* descritas, *Ellisonia conflexa* e *Ellisonia latilaminata* foram classificadas pela morfologia das cavidades basais e processos quando presentes. *Ellisonia conflexa* conserva a maioria dos seus processos e dentículos, assim como uma cavidade basal bem preservada, e relativamente rasa. *Ellisonia latilaminata* não conserva seus processos e dentículos, apresentando, no entanto, uma cavidade basal completamente evertida que auxiliou na sua classificação.

**Elementos encontrados:** 5 elementos *S*.

**Material estudado:** TAPTV4, TAPCX e Pedreira 2.

**Distribuição estratigráfica mundial:** Morrowano ao Missouriano médio nos Apalaches, na Bacia de Illinois, na região do *Midcontinent* e Texas. Morrowano ao Atokano na Formação Itaituba.



**Figura 16.** Conodontes da Formação Itaituba, Bacia do Amazonas em vista oral. Elementos Pa: 1 – 8, 12 – 15, 23 – 25. Elementos M: 9 – 11, 19, 20. Elementos S: 16, 17, 18, 21, 22.

1. (MP-M-731) *Idiognathodus incurvus* (TAPCX3.4); 2. (MP-M-732) *Idiognathodus incurvus* (P2C1); 3. (MP-M-733) *Idiognathoides sinuatus* (P1C22); 4. (MP-M-734) *Neognathodus bothrops* (TAPTV7); 5. (MP-M-735) *Neognathodus medadultimus* (P2C2); 6. (MP-M-736) *Neognathodus bassleri* (P2C1); 7. (MP-M-737) *Neognathodus roundyi* (TAPTV8); 8. (MP-M-744) *Neognathodus atokaensis* (TAPCX3.2); 9. (MP-M-727) *Idioprioniodus* sp. (P2C9); 10. (MP-M-725) *Gondolella* sp. (P2C2); 11. (MP-M-



729) *Gondolella* sp. (P2C9); **12.** (MP-M-738) *Diplognathodus coloradoensis* (P2C17); **13.** (MP-M-739) *Diplognathodus ellesmerensis* (P3C16); **14.** (MP-M-740) *Diplognathodus orphanus* (P3C16); **15.** (MP-M-745) *Hindeodus minutus* (P2C25); **16.** (MP-M-726) *Ubinates advena* (P2C25); **17.** (MP-M-718) *Ellisonia latilaminata* (P2C24) cavidade basal; **18.** (MP-M-718) *Ellisonia latilaminata* (P2C24) detalhe da cavidade basal; **19.** (MP-M-721) *Idioprioniodus* sp. (P2C25); **20.** (MP-M-722) *Idioprioniodus* sp. (P2C9); **21.** (MP-M-717) *Ellisonia conflexa* (P2C25); **22.** (MP-M-717) *Ellisonia conflexa* (P2C25) detalhe da cavidade basal; **23.** (MP-M-741) *Rhachistognathus muricatus* (TAPTV4); **24.** (MP-M-742) *Rhachistognathus muricatus* (TAPTV4); **25.** (MP-M-743) *Adetognathus lautus* (TAPCX3.3).

Abreviaturas: TAPTV – Tapajós Voadeira; TAPTCX – Tapajós Caixa D'água; P2 – Pedreira 2; P3 – Pedreira 3; C – Camada; MP – M – Museu de Paleontologia - Micropaleontologia.

## ***CAPÍTULO 3***

### ***ANÁLISE INTEGRADORA***

#### ***Discussões, Conclusões e Recomendações***

### **3.1. Discussões**

#### **3.1.1. Sedimentação e variabilidade litológica durante o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas e distribuição dos conodontes no perfil deposicional estudado**

Conforme observado no capítulo 1, a sedimentação durante o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas envolve variadas litologias, como siliciclásticos, carbonatos e evaporitos. Em cada litologia existe uma multiplicidade de texturas e estruturas sedimentares que, juntamente com a análise petrográfica e observação dos bioclastos, aspectos diagenéticos, matriz e outros atributos, auxiliam na definição do número de fácies e/ou microfácies sedimentares. Nos carbonatos pensilvanianos da Bacia do Amazonas, por exemplo, Carozzi *et al.* (1972) definiram a ocorrência de vinte microfácies e Altiner & Savini (1991), definiram 13 microfácies carbonáticas. Moutinho (2002), estudando os aspectos tafonômicos dos invertebrados contidos nos carbonatos aflorantes da seção do Tapajós, definiu a ocorrência de 7 microfácies, representando cinco sub-ambientes distintos correlacionáveis aos descritos por Shinn (1983): supramaré, intermaré superior, intermaré inferior, inframaré superior e inframaré inferior. Matsuda (2003) analisando os aspectos diagenéticos desta seção, definiu a ocorrência de 22 microfácies das quais 17 são carbonáticas e 5, siliciclásticas. Propôs, desta forma, um modelo de perfil deposicional fisiográfico, que se trata de uma adaptação baseada nos modelos teóricos de plataformas carbonáticas em rampa propostos por Selley (1980) e Anstey & Chase (1979). Moutinho (2006), abordando aspectos tafonômicos, diagenéticos e isotópicos na seção Tapajós, definiu a ocorrência de 26 microfácies das quais 18 são carbonáticas, 3 são dolomíticas e 5, siliciclásticas. Propôs, desta forma, uma adaptação do modelo de perfil deposicional fisiográfico elaborado por Matsuda (2003), também adotado nesta tese e apresentado na figura 17.

Desta forma, através dos estudos sobre a sedimentação e a variabilidade litológica nos carbonatos pensilvanianos da Bacia do Amazonas elaborados por Carozzi *et al.*, (1972), Silva (1996), Altiner & Savini (1991), Moutinho (2002) e Matsuda (2003) observa-se que, nesta bacia, a sedimentação carbonática foi amplamente dominada por maré, estabelecendo três ambientes deposicionais distintos: inframaré, intermaré e supramaré (Fig. 17). Maiores informações veja Matsuda (2003) e Moutinho (2006).



diferentes autores e a distribuição das fácies carbonáticas nos distintos contextos. (modificado de Moutinho, 2006).

Para Moutinho (2006), o *subambiente 1* (Fig. 17), é caracterizado por sedimentos de inframaré (rampa externa)/intermaré inferior (rampa intermediária), são comuns os folhelhos negros condensados de mar aberto, freqüentemente bioturbados e cuja ocorrência aumenta no sentido da bacia. *Grainstones*, *packstones* e *wackestones* bioclásticos de maior energia são as fácies mais comuns e ocorrem nas proximidades dos bancos bioclásticos. Apresentam grãos esqueletais de fauna marinha e sua ocorrência decresce bacia adentro. Dentre os organismos que ocorrem com maior freqüência nas fácies de inframaré estão briozoários, braquiópodes fibrosos e crenulados, trilobitas, equinodermas e escassos moluscos bivalves, gastrópodes e ostracodes. Estes ocorrem em associação com baixa concentração de siliciclásticos e evaporitos, caracterizando as fácies que os contêm como depositadas em condições de águas calmas, abaixo do nível de ação das ondas normais.

A fauna de conodontes típica desses contextos ambientais é a mais diversificada e composta por abundantes espécimes dos gêneros *Idiognathodus*, *Idiognathoides* e *Neognathodus* em associação com menos comuns espécimes dos gêneros *Hindeodus*, *Idioprioniodus*, *Ellisonia*, *Gondolella*, *Diplognathodus*, *Adetognathus* e *Ubinates*, conforme tabela 1 e figura 18.

Segundo Davis & Webster, (1985), *Idiognathodus* e *Idiognathoides* são gêneros comuns em ambientes marinhos, principalmente de intermaré de baixa a moderada energia, salinidade normal e substrato lamoso, características ambientais que se correlacionam ao cenário de deposição das rochas analisadas. Driese *et al.* (1984) consideram os gêneros *Idiognathodus*, e *Neognathodus* característicos de ambientes marinhos normais, enquanto Merrill & von Bitter (1984), afirmam que sua ocorrência é mais ampla, ocupando diferentes contextos dentro da planície de maré. Ainda, Merrill & von Bitter (1984), afirmam que *Neognathodus* possui ocorrência secundária nas biofácies caracterizadas pela presença de *Idiognathodus*, como também se observa na seção estudada.

De acordo com Merrill & von Bitter (1984), o gênero *Ellisonia* é característico de ambientes restritos de baixa salinidade e comum nas associações faunísticas que contêm elementos de *Adetognathus*. Segundo Driese *et al.* (1984)

*Adetognathus*, *Hindeodus* e *Diplognathodus* são gêneros comuns em ambientes de baixa salinidade e formadores de rochas “grão-suportadas”, como é o caso do ambiente de barra bioclástica. Neste caso, os espécimes destes quatro gêneros, obtidos nas amostras de intermaré inferior/inframaré, podem tratar-se de elementos transportados da região de barra bioclástica vizinha para este contexto mais distal.

De acordo com Merrill e von Bitter (1984), *Idioproniodus* é um gênero característico de ambientes distais, de baixa energia e ricos em matéria orgânica, contextos que se correlacionam a inframaré de onde as amostras que os contêm foram obtidas.

Espécies dos gêneros *Ubinates* e *Gondolella* sofrem controle ambiental, sendo *Ubinates* característico de águas rasas e de elevada energia enquanto *Gondolella*, contrariamente, é típico de águas mais profundas e baixa energia von Bitter & Merrill, (1976). Aqui, enquanto as preferências ambientais de *Gondolella* são correlacionáveis aquelas identificadas para o contexto ambiental de intermaré inferior/inframaré sugerido para os horizontes dos quais os espécimens foram obtidos, a ocorrência de elementos identificados como *Ubinates* caracteriza seu transporte a partir de regiões vizinhas mais proximais.

Conforme Moutinho (2006), o **subambiente 2** (Fig. 17) localiza-se na rampa intermediária, que inclui a intermaré inferior. Este ambiente é dominado pela barra bioclástica, que separa o domínio de mar aberto (intermaré inferior/inframaré) do *lagoon* protegido. A barra bioclástica é considerada o local de maior produção carbonática e é formada por organismos de fauna marinha, incluindo briozoários e corais, importantes indicadores das condições ambientais, pois são organismos sensíveis a variações de salinidade e energia no ambiente. Os restos orgânicos destes organismos são freqüentemente submetidos à ação de ondas e correntes, sendo as fácies dominantes os *grainstones* oolíticos e bioclásticos. Ondas de tempestades e correntes de maré também retrabalham os restos orgânicos, afetando as comunidades e formando depósitos estratificados de *packstones* e *grainstones* oolíticos e bioclásticos.

Em termos gerais, a distribuição das rochas sedimentares na seqüência pensilvaniana da Bacia do Amazonas mostra que esta se consistiu em uma área ampla e relativamente rasa, caracterizada por sedimentação de baixa energia. Assim sendo, as fácies de *grainstones* registram os escassos tipos de depósitos de moderada a elevada energia presentes nesta bacia durante o Pensilvaniano (Moutinho, 2006). São fácies

compostas por bioclastos fragmentados de braquiópodes fibrosos e prismáticos, briozoários, foraminíferos fusulinídeos, ostracodes, trilobitas, crinóides e equinóides. Os grãos terrígenos são raros e a bioturbação e cimentação por calcita espática são feições comuns nestas fácies. Foraminíferos fusulinídeos e pelóides podem ocorrer associados a fragmentos de crinóides, braquiópodes, moluscos bivalves e gastrópodes, caracterizando condições energéticas moderadas, ainda na intermaré, nas proximidades dos bancos bioclásticos. Os *grainstones oolíticos* são fácies compostas predominantemente por oóides, que são componentes alóctones não esqueletais e apresentam escassos bioclastos de ostracodes e moluscos bivalves. Esparsos pelóides e oncolitos com núcleos compostos por crinóides podem ocorrer e a bioturbação é comum. Os horizontes correspondentes a esta fácies possuem espessura média de 60 cm, enquanto as camadas caracterizadas por apresentar estratificação cruzada possuem espessura média de 10 cm. Esta fácies representa ambientes de condições energéticas mais elevadas, típicas de intermaré (Moutinho, 2006).

A fauna de conodontes típica desses contextos ambientais é menos diversificada e composta por espécimes dos gêneros *Adetognathus*, *Idiognathodus*, e *Neognathodus*, conforme tabela 1 e figura 18.

Segundo Driese *et al.* (1984) *Adetognathus* é um gênero comum em ambientes de baixa salinidade e formadores de rochas grão-suportadas, como é o caso do ambiente de barra bioclástica. Estes autores consideram os gêneros *Idiognathodus*, e *Neognathodus* característicos de ambientes marinhos normais, enquanto Merrill & von Bitter (1984), afirmam que sua ocorrência é mais ampla, ocupando diferentes contextos dentro da planície de maré. Segundo estes autores, *Idiognathodus* ocorre secundariamente nas associações que contêm *Neognathodus*, como também se observa na seção estudada.

De acordo com Moutinho (2006), o **subambiente 3** (Fig. 17) é representado pelo *lagoon* protegido de intermaré. Nela, predominam baixa energia e salinidade normal, a temperatura e os padrões de circulação são diferenciados. Neste contexto ambiental as fácies dominantes correspondem a *mudstones* e *wackestones* lamosos de baixa energia, freqüentemente ricos em matéria orgânica e bioturbados. Os *packstones* e *grainstones* podem ocorrer secundariamente. Neste domínio as oscilações na salinidade são periódicas, tendo como resultado, a precipitação de evaporitos, como é o caso da gipsita e anidrita, e, conseqüentemente, a formação de moldes evaporíticos

resultantes da dissolução destes. Ainda, as variações nas taxas de salinidade e temperatura, associadas às condições de baixa energia, favorecem o desenvolvimento de organismos oportunistas, como moluscos gastrópodes e ostracodes, adaptados a condições ambientais de maior instabilidade. Além destes, outros organismos que ocorrem com frequência nas fácies de *lagoon* protegido são foraminíferos, braquiópodes fibrosos e crenulados, equinodermas e escassos moluscos bivalves. Em função da proximidade com as áreas submetidas à exposição sub-aérea, a ocorrência de elementos siliciclásticos como grãos de quartzo e feldspato, oncóides e pelóides pode contribuir na formação das fácies. Da mesma forma, fácies siliciclásticas de origem deltáica são comuns e importantes componentes dos depósitos de origem no *lagoon* de intermaré.

A fauna de conodontes típica das fácies dominantes, que correspondem a *mudstones* e *wackestones* lamosos de baixa energia, é composta por espécimes dos gêneros *Idiognathodus* e *Diplognathodus* em associação com menos abundantes *Idiognathoides* e *Hindeodus*, conforme tabela 1 e figura 18.

Segundo Davies & Webster (1985), *Idiognathodus* e *Idiognathoides* são gêneros comuns em ambientes de intermaré de baixa energia e substrato lamoso, como é o caso do *lagoon* de intermaré. Merrill & von Bitter (1984) classificam *Diplognathodus* como um gênero comum em ambientes de elevada salinidade e influxo siliciclástico, na proximidade da linha de costa. Novamente, estas são características comuns ao ambiente de *lagoon* de intermaré de cujos depósitos tais gêneros foram obtidos. Nesta associação faunística, apenas o gênero *Hindeodus* parece tratar-se de um elemento exógeno. Isto porque, além de tratar-se de um gênero comum a ambientes de baixa salinidade e elevada energia (Merrill & von Bitter, 1984), está representado por apenas 2 exemplares que podem ter sido transportados da região vizinha, de intermaré inferior.

A fauna de conodontes típica das fácies siliciclásticas, que são menos comuns e correspondem a folhelhos, siltitos e arenitos de origem deltáica, é composta por abundantes espécimes dos gêneros *Adetognathus* e *Idiognathodus*, em associação com menos abundantes *Neognathodus*, *Hindeodus*, *Ellisonia* e *Rhachistognathus*, conforme tabela 1 e figura 18.

Driese *et al.* (1984) consideram os gêneros *Idiognathodus*, e *Neognathodus* característicos de ambientes marinhos normais, enquanto Merrill & von Bitter (1984), afirmam que sua ocorrência é mais ampla, ocupando diferentes contextos dentro da planície de maré e que *Neognathodus* possui ocorrência secundária nas



biofacies caracterizadas pela presença de *Idiognathodus*, como também se observa na amostras siliciclásticas de origem deltáica da seção estudada.

De acordo com Merrill & von Bitter (1984), o gênero *Ellisonia* é característico de ambientes restritos de baixa salinidade e comum nas associações faunísticas que contêm elementos de *Adetognathus*. Segundo Driese *et al.* (1984) *Adetognathus* e *Hindeodus* são gêneros comuns em ambientes de baixa salinidade e formadores de rochas grão-suportadas, como é o caso do ambiente de barra bioclástica. Neste caso, os espécimes destes quatro gêneros, obtidos nas amostras de *lagoon*, podem tratar-se de elementos transportados da região de barra bioclástica vizinha para este contexto mais proximal, sendo trapeados pelas fácies deltáicas.

A importância do gênero *Rhachistognathus*, tratando-se da espécie *Rhachistognathus muricatus*, é maior bioestratigraficamente do que paleoecologicamente. Isto porque, esta espécie é considerada um ótimo índice para os estratos do Pensilvaniano inferior (Morrowano) na América do Norte. Além desta espécie, outras como *Neognathodus atokaensis* e *Diplognathodus orphanus* são bons marcadores dos estratos do Atokano daquela área. Estas espécies são encontradas na região aqui analisada e serão novamente mencionadas no item que trata das considerações bioestratigráficas.

Conforme Moutinho (2006), o **subambiente 4** (Fig. 17) compreende os tapetes microbiais de intermaré e supramaré inferior, localizados na rampa interna e submetidos a condições salinas a hipersalinas. A microfácies dominante corresponde a laminações microbiais, que se caracterizam pela ocorrência de lâminas ricas em matéria orgânica e lama carbonática em associação com elementos evaporíticos e grãos siliciclásticos e acumulados de restos esqueléticos. Estes elementos são, normalmente, transportados da região restrita vizinha por correntes de maré e ondas de tempestade e ocorrem, preferencialmente, trapeados pelo tapete microbial. Cabe salientar que a presença de conglomerados intraformacionais, originados de gretas de dissecação, são comuns, da mesma forma que a cimentação de água rasa e a fácies dolomita lamosa singenética, formada em períodos de evaporação intensa.

As fácies de *laminito microbial* presentes na seção estudada caracterizam-se pela coloração cinza escuro e aparência laminada, de fácil desagregação. Em lâmina petrográfica, não se observa a presença de bioclastos, porém, do material desagregado por ácido acético, para posterior triagem e coleta de

microfósseis, foram obtidos elementos esqueléticos provenientes de braquiópodes e equinodermas, bem como elementos conodontes. Moutinho (2006) faz referência à ocorrência de gastrópodes, ostracodes e foraminíferos e afirma que a bioturbação é escassa, ocorrendo em associação com a entrada de água marinha no ambiente.

Sua identificação na sucessão faciológica vertical é importante pelo fato desta fácies ser característica de contextos ambientais particulares, evaporíticos e hipersalinos, dentro da intermaré superior/supramaré. Assim, na ausência de outra fácies que caracterize contextos deposicionais proximais, as fácies de *laminitos microbiais* são fundamentais na identificação de variações relativas do nível do mar.

A fauna de conodontes típica desses contextos ambientais é diversificada e composta por abundantes espécimes dos gêneros *Idiognathoides*, *Idiognathodus* e *Neognathodus* em associação com menos comuns espécimes dos gêneros *Hindeodus*, e *Adetognathus*, conforme tabela 1 e figura 18.

Segundo Davies & Webster (1985), *Idiognathodus* e *Idiognathoides* são gêneros comuns em ambientes de intermaré de baixa energia e substrato lamoso, como é o caso do *lagoon* de intermaré e sua ocorrência nos laminitos microbiais pode ser consequência de transporte a partir da região de *lagoon* vizinha.

Os gêneros *Idiognathodus* e *Neognathodus* são característicos de ambientes marinhos normais para Driese *et al.* (1984), porém Merrill & von Bitter (1984) atribuem a esses gêneros uma ocorrência mais ampla, podendo estar presentes em diferentes ambientes dentro da planície de maré. Segundo estes autores, *Idiognathodus* pode ocorrer secundariamente nas associações que contêm *Neognathodus*, como também se observa na amostras de laminitos microbiais obtidas da seção estudada.

De acordo com Driese *et al.* (1984) *Adetognathus* e *Hindeodus* são gêneros comuns em ambientes de baixa salinidade e formadores de rochas grão-suportadas, como é o caso do ambiente de barra bioclástica. Neste caso, os espécimes destes gêneros, obtidos nas amostras de laminitos microbiais igualmente podem tratar-se de elementos transportados da região de barra bioclástica vizinha para este contexto mais proximal, sendo trapeados pelas fácies microbiais.

Para Moutinho (2006), o *subambiente 5* (Fig. 17) compreende uma zona marginal muito rasa e restrita, caracterizada como zona de *Sabkha*, extremamente

evaporítica. Localiza-se atrás da planície de maré e é submetida a extremas condições de hipersalinidade, podendo apresentar lagos eventuais. A hipersalinidade é ideal para a formação de depósitos dolomíticos e evaporíticos, com conseqüente precipitação de gipsita e anidrita. Assim, a presença de organismos é rara, resumindo-se, basicamente, a tapetes microbiais intercalados com matéria orgânica. Os grãos terrígenos como quartzo, feldspato e argila são comuns em associação com as dolomititas e evaporitos.

Nas amostras de horizontes identificados como diagnósticos deste subambiente não foram encontrados conodontes, conforme tabela 1 e figura 18.

Segundo Moutinho (2006), o *subambiente 6* (Fig. 17) localiza-se na planície de supramaré, entre a zona restrita hipersalina e o continente. Caracteriza-se por ser um ambiente plano e lamoso, com sedimentação siliciclástica. As fácies dominantes correspondem a arenitos com estratificações sigmoidais, siltitos com gretas de contração e arenitos sílticos finamente laminados. A fácies mais comum corresponde a siliciclásticos e intraclastos de carbonatos em associação com tapetes microbiais. Adicionalmente, depósitos evaporíticos e dolomíticos podem se formar quando as marés altas e de tempestade introduzem água marinha no contexto.

Nas amostras de horizontes identificados como diagnósticos deste subambiente não foram encontrados conodontes, conforme tabela 1 e figura 18.

De acordo com Moutinho (2006), o *subambiente 7* (Fig. 17) corresponde a uma área francamente continental, onde predominam ambientes fluviais e eólicos. As fácies dominantes são arenitos estratificados, siltitos e argilitos. Esta é a zona de recarga de água doce para o sistema de dolomitização, conforme os modelos de Tucker (1992).

Nas amostras de horizontes identificados como diagnósticos deste subambiente não foram encontrados elementos conodontes, conforme tabela 1 e figura 18.

Estes microambientes distribuem-se lateralmente na planície de maré, sugerida como cenário de deposição dos carbonatos estudados, sendo sua distribuição vertical uma importante ferramenta na interpretação das oscilações do nível relativo do mar e, conseqüentemente, da distribuição lateral dos organismos conodontes.

Considerando as fácies observadas e, com base nos estudos sobre a geologia e ciclicidade da Bacia do Amazonas previamente desenvolvidos (Caputo, 1984; Szatmari *et al.*, 1975; Altiner & Savini, 1991; Silva, 1996; Matsuda, 2003)

admite-se que uma plataforma carbonática intracratônica desenvolveu-se durante o Neopensilvaniano na Bacia do Amazonas. Segundo Ross & Ross (1990; *in* Matsuda, 2003), esta plataforma localizava-se em baixas a médias latitudes, aproximadamente 30° e 35° S. O perfil deposicional sugerido para este tempo, nesta bacia, caracteriza uma rampa carbonática semelhante aquelas extensivamente documentadas por Shinn (1983), Read (1985) e Burchette & Wright (1992).

Como discutido no capítulo 1, a coluna litológica correspondente ao neopensilvaniano da Bacia do Amazonas inicia com os sedimentos siliciclásticos de origem eólica correspondentes à Formação Monte Alegre, que são recobertos pelos extensos pacotes carbonáticos da Formação Itaituba. Tratando-se da seção aflorante estudada, os horizontes correspondentes ao topo da Formação Monte Alegre e porção inferior da Formação Itaituba podem ser agrupados em 4 seções principais:

*Seção do Rio Tapajós* – inicia com os arenitos estratificados aflorantes na região de Maloquinha, caracterizando o topo da Formação Monte Alegre. Apresentando estratificações cruzadas de grande porte e compostos por grãos bimodalmente distribuídos, caracterizam depósitos de dunas eólicas, formados em áreas expostas do contexto ambiental continental.

As primeiras incursões de água marinha sobre os sedimentos eólicos são registradas pela ocorrência de lentes dolomíticas em associação com os arenitos aflorantes na região do Igarapé Uricurí. Assume-se que as freqüentes incursões marinhas introduziram carbonatos nos vales entre as dunas, agora representados pelas lentes dolomitizadas. Segundo Matsuda, (2003) e Moutinho, (2006), o desenvolvimento da fácies de *dolomita lamosa*, caracterizada pela ocorrência de grãos siliciclásticos bimodalmente distribuídos em associação com matéria orgânica, pelóides e abundantes elementos fósseis de moluscos gastrópodes, caracteriza deposição em um contexto marinho restrito, na supramaré/intermaré superior. Já nestes horizontes são encontrados abundantes e diversificados espécimes de conodontes, como *Idiognathodus*, *Adethognathus* e *Neognathodus* (conforme tabela 1 e figura 18), que corroboram o estabelecimento de condições marinhas. O estabelecimento de francas condições marinhas é observado no horizonte carbonático identificado como *grainstone bioclástico*. Este é composto por abundante e diversificado conteúdo fossilífero, e demonstra o estabelecimento de melhores condições ambientais e o amplo

desenvolvimento da fábrica carbonática, caracterizando sedimentação marinha no contexto ambiental de intermaré.

Estes depósitos marinhos são abruptamente recobertos por arenitos com estratificação sigmoidal e fácies siliciclásticas com gretas de ressecamento, caracterizando depósitos de frentes deltáicas formados nos contextos ambientais continental ou de planície de maré. O contexto ambiental muda novamente, como mostram as fácies dolomíticas que se sobrepõem aos siliciclásticos de origem deltáica. Este horizonte dolomítico é associado a nódulos de sílica, interpretados como produtos da substituição de evaporitos e abundantes grãos de quartzo e feldspato, indicando proximidade com a linha de costa. Da mesma forma, os fósseis são raros e representados por esparsos fragmentos no topo da seção, indicando que estes níveis dolomíticos se formaram no contexto ambiental de *Sabkha* hipersalino, no contexto de supramaré, observados nos afloramentos TAPCX e TAPTV.

*Seção da Pedreira 1* – a primeira metade da seção correspondente à pedreira 1 caracteriza-se pela predominante deposição de carbonatos francamente marinhos, principalmente *grainstones*, *packstones*, *wackestones* e *mudstones* de contextos deposicionais de intermaré inferior/inframaré. Na segunda metade da seção, no intervalo entre 30 e 39 metros as fácies carbonáticas predominantes são caracteristicamente depositadas em contextos mais proximais, restritos e, conseqüentemente, salinos. Predominam os *wackestones* e *mudstones* típicos do *lagoon* protegido de intermaré em associação com *laminitos microbiais* e *dolomitas lamosas* de supramaré/intermaré superior. Na pedreira 1, apesar de as melhores condições ambientais estarem registradas na primeira metade da seção, a maior diversidade e abundância de elementos conodontes está na segunda metade desta. Neste caso, parece que não foram condições ambientais adequadas ao desenvolvimento dos organismos conodontes que determinaram sua distribuição e abundância através da seção e sim, é provável que na segunda metade da seção as condições preservacionais tenham favorecido a formação de assembléias ricas em conodontes.

*Seção da Pedreira 2* – o primeiro terço da seção correspondente à pedreira 2 é composto por horizontes predominante carbonáticos, principalmente *packstones* e *wackestones* de contextos deposicionais de intermaré inferior/inframaré. Nestes depósitos estão as maiores concentrações de elementos conodontes, compondo

assembléias com elevada diversidade específica (conforme tabela 1 e figura 18). Aqui, além das condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento dos organismos conodontes, é provável que os fatores ambientais que atuam no soterramento dos restos orgânicos tenham contribuído na formação destas assembléias ricas em elementos conodontes bem preservados. Subindo estratigraficamente na seção, o intervalo entre 47 e 56 metros, corresponde à fácies carbonáticas caracteristicamente depositadas em contextos proximais restritos e, conseqüentemente, salinos. Predominam os *mudstones* típicos do *lagoon* protegido de intermaré em associação com *wackestones* de intermaré e *laminitos microbiais* e *dolomitas lamosas* de supramaré/intermaré superior. Nestes horizontes, a abundância e diversidade faunística reduz consideravelmente (conforme tabela 1 e figura 18). Neste caso, além das condições ambientais desfavoráveis ao desenvolvimento dos organismos conodontes, como periódicas oscilações na salinidade e temperatura, associadas às condições de baixa energia, os espessos depósitos de *mudstones com moldes de gipsita* podem ter contribuído na diluição dos depósitos de restos orgânicos, resultando no resgate de uma baixa amostragem quantitativa. O último terço da seção é composto pelos horizontes do intervalo entre 56 a 60 metros a contar da base e caracteriza-se pela deposição predominante de carbonatos marinhos, principalmente *packstones* e *wackestones* de contextos deposicionais de intermaré inferior/inframaré. Estes depósitos marinhos são mais ricos em termos de conodontes, em função de caracterizarem condições ambientais mais adequadas ao desenvolvimento dos organismos.

*Seção da Pedreira 3* – a metade inferior da seção correspondente à pedreira 3 é composta pelos níveis do intervalo entre 60 a 80 metros a contar da base da seção e caracteriza-se pela ocorrência de arenitos laminados em sobreposição aos carbonatos marinhos da seção anterior. Este horizonte contém abundantes elementos fossilíferos provenientes de vegetais superiores, como restos de licófitas e megásporos a estas associadas, em conjunto com intercalações de carvão e grada verticalmente para fácies de granulação mais fina, com laminações do tipo *tidal bundles*. Caracteriza, desta forma, depósitos fluviais e de frentes deltáicas formados sob regimes sub-aquosos nos contextos ambientais continental ou de planície de maré. Acima deste pacote siliciclástico o contexto ambiental muda novamente, como mostra a fácies siliciclástica com gipsita que se sobrepõe aos siliciclásticos de origem deltáica. A gipsita (detectada nesta fácies por Moutinho (2006), em análises de difratometria de raios-x,) corresponde

a um mineral autigênico cuja deposição, entre outras variáveis ambientais, depende de uma fonte de água marinha com restrição de circulação e elevada taxa de evaporação, o que indica que este horizonte tenha se depositado no domínio ambiental de *Sabhka* hipersalino, no contexto de supramaré, em função do restabelecimento das condições marinhas sobre os sedimentos flúvio-deltáicos. Descontando-se um intervalo de aproximadamente 2,5 metros de sedimentos desabados, o topo da seção, composto pelos níveis do intervalo entre 72 a 80 metros a contar da base, caracteriza-se pela deposição predominante de carbonatos marinhos, principalmente *grainstones*, *wackestones* e *mudstones* típicos de contextos deposicionais restritos, de intermaré superior e da fácies de *folhelho*, característico de inframaré. Nestes horizontes de origem marinha restrita são observados, novamente, diferentes gêneros de conodontes como *Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Adetognathus*, *Hindeodus* e *Diplognathodus*. Destes, conforme discutido anteriormente, *Idiognathodus* e *Idiognathoides* caracterizam ambientes marinhos de intermaré de baixa a moderada energia, *Adetognathus* e *Hindeodus*, caracterizam ambientes restritos e proximais e *Diplognathodus*, é típico de ambientes próximos da linha de costa, de elevada salinidade e influxo de siliciclásticos. Assim, a fauna de conodontes obtida destes horizontais é compatível com a descrição ambiental para os mesmos. Além destes organismos, os palinórfos *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaeotriletes arenaceus*, *Spelaeotriletes triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* e *Meristocarpus* sp. foram obtidos dos horizontes correspondentes aos depósitos fluviais e de frentes deltáicas, formados sob regimes sub-aquosos nos contextos ambientais continental ou de planície de maré. Estas espécies são importantes na bioestratigrafia e foram utilizadas no posicionamento cronoestratigráfico dos horizontes estudados, que será discutido a frente, no item que versa sobre considerações bioestratigráficas.







TAPCX	LITOLOGIA																		
		<i>Adetognathus lautus</i>	<i>Idiognathodus incurvus</i>	<i>Idiognathoides sinuatus</i>	<i>Neognathodus bothrops</i>	<i>Neognathodus bassleri</i>	<i>Neognathodus medadulitimus</i>	<i>Neognathodus atokaensis</i>	<i>Neognathodus roundyi</i>	<i>Hindeodus minutus</i>	<i>Idiopriionodus</i> sp.	<i>Diplognathodus coloradoensis</i>	<i>Diplognathodus orphanus</i>	<i>Diplognathodus ellesmerensis</i>	<i>Ellisonia conflexa</i>	<i>Ellisonia latilaminata</i>	<i>Ubinates</i> sp.	<i>Gondolella</i> sp.	<i>Rhachistognathus muricatus</i>
CX 3.5	folhelho	3	66			3	1	2											
CX 3.4	folhelho	23	13				1		2						3				
CX 3.3	arenito/ folhelho	6	7					1											
CX 3.2	folhelho	10	6					1											
CX 3.1.1	dolomito	1	12																
CX 3.1	grainstone a foraminíferos	1	4																

TAPTV	LITOLOGIA																		
		<i>Adetognathus lautus</i>	<i>Idiognathodus incurvus</i>	<i>Idiognathoides sinuatus</i>	<i>Neognathodus bothrops</i>	<i>Neognathodus bassleri</i>	<i>Neognathodus medadulitimus</i>	<i>Neognathodus atokaensis</i>	<i>Neognathodus roundyi</i>	<i>Hindeodus minutus</i>	<i>Idiopriionodus</i> sp.	<i>Diplognathodus coloradoensis</i>	<i>Diplognathodus orphanus</i>	<i>Diplognathodus ellesmerensis</i>	<i>Ellisonia conflexa</i>	<i>Ellisonia latilaminata</i>	<i>Ubinates</i> sp.	<i>Gondolella</i> sp.	<i>Rhachistognathus muricatus</i>
TV12	dolomito	1	7																
TV11	wackstone		5																
TV9	grainstone	14	40				1												
TV8	folhelho calcífero	9	59		1	1	8	3											
TV7	grainstone	6	40		1		1	1											
TV4	arenito	1													1				3

**Tabela 1.** Distribuição dos gêneros e espécies de conodontes encontrados nos afloramentos estudados e respectivas litologias. As colunas sombreadas referem-se aos gêneros não obtidos nas seções amostradas.



### 3.1.2. Novas ocorrências de conodontes na Bacia do Amazonas

Como já foi discutido anteriormente, a Formação Itaituba inclui os mais espessos depósitos de rochas carbonáticas do grupo Tapajós, sendo estes os mais abundantes em conteúdo fossilífero. Com relação aos conodontes, os gêneros comumente descritos incluem: *Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Neognathodus*, *Adetognathus*, *Hindeodus*, *Diplognathodus*, *Idioprioniodus* e *Rhachistognathus*. Nesta tese, também são registrados os gêneros *Ellisonia Gondolella* e *Ubinates*, sendo sua ocorrência inédita para a Bacia do Amazonas. Estes gêneros são muito úteis para a bioestratigrafia e o estabelecimento de correlações com os estratos pensilvanianos da América do Norte, especialmente aqueles da região do Midcontinent.

O estudo taxonômico de conodontes da Bacia do Amazonas se baseia em elementos *Pa*, devido ao seu imediato reconhecimento e em função da baixa diversidade e resistência à preservação de outros elementos componentes do aparato. Entretanto, os novos gêneros aqui descritos são formados por elementos não-plataformados, sendo reconhecidos elementos “S” de *Ellisonia* e *Ubinates* e “M” de *Gondolella*.

Os sete elementos de *Ellisonia* estudados são provenientes dos pontos TAP TCX 3.4, TAP TV4, P2C24, P2C25 e P2C53, enquanto os elementos identificados como *Gondolella* e *Ubinates* são provenientes dos pontos P2 C2, P2 C9 e P2 C25, respectivamente.

O gênero *Ellisonia* foi proposto por Müller (1956), com base em elementos conodontes bilateralmente simétricos do Triássico Inferior da Zona de *Meekoceras*, Nevada. Os primeiros representantes dos Ellisonidae pensilvanianos foram interpretados por von Bitter & Merrill (1983) como duas espécies de *Ellisonia* que surgiram no Atokano (Pensilvaniano) (Sweet, 1988). Os representantes de Ellisonidae pensilvanianos, apesar de raros, são de grande importância, uma vez que representam a linhagem que sobreviveu à crise do Permiano inferior (Clark, 1972). As últimas ocorrências de *Ellisonia* datam do final do Triássico (Sweet, 1988). Na América do Norte, as espécies de *Ellisonia* são mais comuns em biofácies de águas rasas, como é o caso do Membro Ames (Grupo Conemaugh, do Virgiliano), na área da Virginia, onde o maior número de espécies de *Ellisonia* ocorre em um complexo deposicional de laguna/barreira de planície de maré (Merrill, 1973).

As espécies de *Ellisonia* mencionadas neste estudo foram identificadas principalmente em função da boa preservação das porções basais, as quais conservaram caracteres diagnósticos das espécies.

Devido sua importância paleoecológica e bioestratigráfica, o primeiro registro desse gênero para a Bacia do Amazonas, assim como a sistemática paleontológica referente às espécies descritas, são detalhados no capítulo 4 desta tese, que se refere ao artigo científico: “First occurrence of *Ellisonia* in Brazil - Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin”.

O gênero *Gondolella* foi definido por Stauffer & Plummer (1932) com base em elementos com morfologia semelhante a uma canoa. De acordo com von Bitter & Merrill (1998) *Gondolella*, é um prioniodínídeo, em função de características anômalas de seus elementos *S* e *M* e por sua ancestralidade com a linhagem de *Idioproniodus-Embsaygnathus*. O gênero é conhecido do Pensilvaniano ao Permiano e não é geograficamente restrito. Para von Bitter & Merrill (1998), a distribuição do gênero vai do Pensilvaniano inferior ao superior.

O gênero *Gondolella* é registrado em algumas faunas no oeste da América do Norte, enquanto em outras está ausente (Youngquist *et al.* 1951; Clark & Ethington, 1962; Rhodes, 1963). Ocorre na Groelândia e Sicília e está ausente na Grécia e Alemanha (Bender & Stopel, 1965). Estudos preliminares indicam que o gênero é ausente em Kashmir (Sweet, 1988) e na Tailândia (Igo & Koike, 1965).

Baesemann (1973) criou o gênero *Aethotaxis* para incluir elementos conodontes de morfologias distintas e provenientes do Pensilvaniano (Missuriano) do Kansas. A recente mudança do nome *Aethotaxis* para *Ubinates* se deu em função da denominação inicial de *Aethotaxis* para um peixe nototenióide perciforme (DeWitt, 1962). O nome *Ubinates* foi proposto por Baesemann & Purnell (2000).

Merrill & von Bitter (1976) sugerem que *Ubinates* foi habitante de águas limpas e rasas, com salinidade normal a reduzida, em ambientes de pH elevado e que normalmente apresentam áreas de elevada energia, com circulação aberta e acima do nível de ação de ondas de tempo bom. Na seção estudada, o elemento *Sa* de *Ubinates* é proveniente de um horizonte de *packstone* e ocorre em associação com *Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Ellisonia* e raros *Hindeodus* e *Neognathodus*. Tanto *Idiognathodus* quanto *Idiognathoides* e *Neognathodus* são típicos de ambientes marinhos de intermaré de baixa a moderada energia, salinidade normal e substrato lamoso (Merrill & von Bitter, 1984; Davies e Webster, 1985), enquanto *Hindeodus* é característico de

ambientes de águas limpas, mais baixa salinidade e elevada energia (Merrill & von Bitter 1984). Dos gêneros que compõem esta assembléia de conodontes, apenas *Ellisonia* caracteriza ambientes de circulação mais restrita e baixa salinidade (Merrill & von Bitter, 1976). Independente disso, as preferências ambientais dos gêneros mencionados são correlacionáveis às características ambientais propostas para os horizontes dos quais foram obtidos e que se correlacionam ao contexto ambiental de intermaré inferior.

De acordo com Merrill & von Bitter (1976), espécies de *Gondolella* do Pensilvaniano são as mais restritas em preferências ambientais. Caracterizam biofácies de águas relativamente profundas, de baixo Ph, ricas em matéria orgânica e de baixa energia onde a presença de *Idioproniodus* é muito comum, não ocorrendo em associação com espécimes de *Ubinates* (Sweet, 1988).

Os espécimes *M* de *Gondolella* foram obtidos nos horizontes P2C2 e P2C9, caracterizados como *wackestone/packstone* bioclástico, diagnósticos de intermaré inferior/inframaré, de circulação aberta. Ocorrem em associação com espécimes de *Idiognathodus*, *Neognathodus* e *Hindeodus* e raros *Adetognathus* (P2C2) e com *Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Idioproniodus*, *Neognathodus*, *Hindeodus* e raros *Adetognathus* e *Diplognathodus* (P2C9). Mais uma vez, as preferências ambientais dos gêneros mencionados são correlacionáveis às características ambientais propostas para os horizontes dos quais foram obtidos e que se correlacionam ao contexto ambiental de intermaré inferior/inframaré.

Além das correlações com o *Midcontinent* Norte Americano, *Hindeodus* e *Gondolella* são importantes indicadores paleoecológicos e poderão contribuir nos estudos sobre a fauna de conodontes do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas. O primeiro registro destes gêneros para a Bacia do Amazonas e a sistemática paleontológica referente às espécies descritas serão detalhados em artigo científico que encontra-se em fase de elaboração e em breve será disponibilizado a comunidade científica.

### 3.1.3. Considerações bioestratigráficas

Como discutido no capítulo 1, o zoneamento bioestratigráfico para o Carbonífero, que inicialmente foi baseado em palinomorfos, hoje é complementado por zoneamentos baseados em microfósseis marinhos (conodontes e foraminíferos fusulinídeos) e em amonóides. Os limites das zonas estabelecidas por estas diferentes ferramentas geralmente não são coincidentes, entretanto os zoneamentos completam-se entre si (Peppers, 1996).

Os primeiros estudos acerca dos conodontes no Brasil foram publicados por Fúlfaro (1965), em trabalho que, além do enfoque taxonômico, apresentou as primeiras ocorrências de conodontes nos depósitos carboníferos da Formação Itaituba, na Bacia do Amazonas. A partir deste estudo pioneiro, os trabalhos em conodontes tiveram continuidade com Araújo & Rocha-Campos (1969), Tengan *et al.* (1976), Rocha-Campos & Archangelsky (1986), Lemos & Medeiros (1989), Lemos (1990a), Lemos (1992 a, b), Lemos & Medeiros (1996 a, b), Silva & Lemos (1996), Neis (1996), Scomazzon (1999), Lemos & Scomazzon (2001), Scomazzon (2004), Nascimento *et al.* (2005), Scomazzon & Lemos (2005) onde além do estudo sistemático, tiveram espaço o enfoque paleoecológico e bioestratigráfico, especialmente na busca pela resolução bioestratigráfica dos depósitos analisados.

Com relação aos estudos bioestratigráficos nos depósitos marinhos do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas merecem destaque Lemos (1990a), Neis (1996), Scomazzon (1999), Lemos & Medeiros (1996a), Lemos & Scomazzon (2001), Scomazzon (2004), Scomazzon & Lemos (2005), e Nascimento *et al.* (2005). As biozonas estabelecidas auxiliaram no reconhecimento dos andares neomorrowano, Atokano e eodesmoinesiano na Bacia do Amazonas, possibilitando correlações com os estratos do *Midcontinent* norte-americano. Tais biozonas, já detalhadas no capítulo 1, serão aqui apenas mencionadas.

Visando o refinamento bioestratigráfico da seção marinha aflorante no Grupo Tapajós, a qual inclui as formações Monte Alegre e Itaituba, nesta tese são descritas as associações de conodontes e discutidas três zonas de conodontes que contribuíram na definição do limite Morrowano/Atokano para o perfil estudado – seção do Tapajós.

Para tanto, foram analisadas assembléias de conodontes obtidas das zonas de afloramentos da região sul da Bacia do Amazonas, incluindo dois pontos de

coleta as margens do Rio Tapajós (TAPTV e TAPCX) e três pedreiras de calcário (pedreiras 1, 2 e 3). A associação de conodontes analisada é composta, principalmente, por elementos *Pa* de *Idiognathodus incurvus*, *Neognathodus bothrops*, *N. bassleri*, *N. medadultrimus*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *Idiognathoides sinuatus*, *Adetognathus lautus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*, *Hindeodus minutus* e menos comuns elementos *S* de *Ellisonia latilaminata*, *E. conflexa*, elementos *Sa* de *Ubinates advena* e elementos *M* de *Idioprioniodus* sp. e *Gondolella* sp. Além de considerações paleoecológicas, o estudo destes elementos permitiu o refinamento bioestratigráfico do Carbonífero da Bacia do Amazonas, com o estabelecimento de duas **zonas de amplitude de táxon** *Rhachistognathus muricatus* e *Diplognathodus orphanus* e uma **cenozona**: *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultrimus*.

A zona de amplitude do táxon *Rhachistognathus muricatus* compreende os estratos basais da seção estudada (TAPTV), e é marcada pela ocorrência de *Rhachistognathus muricatus*, espécie tipo do Morrowano. Litoestratigraficamente, esta biozona inclui o limite entre as formações Monte Alegre e Itaituba.

A zona de amplitude de táxon *Diplognathodus orphanus* compreende os estratos inferiores da seção correspondente à pedreira 2 (P2C19) e se estende até a metade superior da pedreira 3 (P3C16). O horizonte P3C16 é o mais abundante em *D. orphanus*, que é espécie considerada bom índice para o Atokano.

A cenozona *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultrimus* compreende a porção mediana das seções ao longo do Rio Tapajós (do horizonte TAPCX 3.2 ao horizonte TAPCX 3.5 e do horizonte TAPTV 7 ao horizonte TAPTV 12). Litoestratigraficamente, estes horizontes correspondem a Formação Itaituba, de idade atokana.

Os comentários sobre as espécies de conodontes observadas nas associações obtidas e seu potencial bioestratigráfico, assim como as discussões e correlações bioestratigráficas com outras biozonas de conodontes estabelecidas para a Formação Itaituba são melhor detalhados no artigo científico: *Conodont Biostratigraphy and Paleocology of Lower Pennsylvanian Marine Calcareous Profile - Itaituba Formation, Southern Region of Amazonas Basin*, que corresponde ao capítulo 5 desta tese.

Dentre os recentes trabalhos de conodontes, as principais contribuições dizem respeito ao limite cronoestratigráfico Morrowano – Atokano. Este vem sendo



gradualmente rebaixado nos estratos basais da Formação Itaituba, especialmente nas seções aflorantes da região do Rio Tapajós e nas pedreiras de calcário. Enquanto os horizontes basais da pedreira 3 foram considerados por Matsuda (2003) equivalentes ao Marco 65 de Carozzi *et al.* (1972), um marco litoestratigráfico atribuído ao limite Morrowano – Atokano, Scomazzon (2004), utilizando conodontes e dados litoestratigráficos, correlaciona o marco de Carozzi com os depósitos siliciclásticos aflorantes as margens do Rio Tapajós, o que é corroborado por Nascimento *et al.* (2005) e Nascimento *et al.* B (no prelo/capítulo 5 desta tese).

Estudos complementares com palinórfos estão sendo realizados na tentativa de enriquecer os estudos taxonômicos e bioestratigráficos com conodontes. Estes visam integrar dados bioestratigráficos inéditos com aqueles obtidos através do estudo de conodontes para o refinamento biocronoestratigráfico da seção aflorante da Formação Itaituba. Dentre estes, está o estudo realizado na seção correspondente a pedreira 3, com amostras de conodontes obtidos de diferentes horizontes e palinórfos do horizonte P3C6, do qual impressões fósseis de restos vegetais e abundantes megásporos atribuídos a licófitas também foram coletados.

A associação de conodontes dos horizontes amostrados da pedreira 3 inclui elementos *Pa* de *Idiognathodus*, *Diplognathodus*, *Idiognathoides*, *Adetognathus* e *Hindeodus*. Destes, as espécies *Idiognathodus incurvus* e *Diplognathodus orphanus* são predominantes nesta associação, sendo que a presença de *Diplognathodus orphanus*, confere a idade atokana aos depósitos, uma vez que este é um excelente marcador deste tempo.

Das 4 amostras processadas para análises palinológicas, apenas uma se mostrou satisfatória, apresentando espécies de pólen e esporos diversificadas e bem preservadas. Dentre os palinórfos analisados, alguns têm importância bioestratigráfica, como: *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaeotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* e *Meristocarpus* sp. B de Playford & Dino (2000b). Esta assembléia se refere à zona de *Striomonosaccites incrassatus* que, de acordo com Playford & Dino (2000b), ocorre na porção mediana da Formação Itaituba, de idade atokana. Estes dados estão em concordância com o posicionamento bioestratigráfico realizado com base em conodontes, especialmente as espécies *Diplognathodus orphanus* que ocorre até o horizonte P3C16 e *Idiognathodus incurvus*, que ocorre até o horizonte P3C19, da

pedreira 3, os quais confirmam a idade atokana para esta seção (Nascimento *et al.*, B no prelo/capítulo 5 desta tese).

Comentários mais detalhados sobre as espécies de grãos de pólen, esporos e algas observadas nas associações palinológicas obtidas, seu potencial bioestratigráfico, bem como as discussões e correlações bioestratigráficas com as biozonas de conodontes estabelecidas para a Formação Itaituba são apresentados no artigo científico: *Biochronostratigraphy (Conodonts and Palynology) from the Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin*, que corresponde ao capítulo 6 desta tese.

#### **3.1.4. IAC – Índice de Alteração de Cor**

Como já foi discutido no capítulo 1, as peças denticuladas dos conodontes são compostas por lâminas de apatita, entre as quais se dispõem camadas mais finas de matéria orgânica. De acordo com os diferentes níveis de maturação da matéria orgânica, definida pelas variações na sua coloração, são úteis enquanto indicadores geotermiais. Assim, além de sua importância como marcadores bioestratigráficos esses microfósseis também são úteis na determinação das paleotemperaturas através do uso do IAC – índice de Alteração de Cor. O IAC vai do amarelo pálido ao preto (50° a 600°C) e se baseia na análise das mudanças de cor que sofre a matéria orgânica ao longo do tempo com o aumento da temperatura. Acompanhando as mudanças de cor também ocorrem deformações, recristalizações, fraturas e outras alterações microestruturais que igualmente podem fornecer importantes informações sobre as condições geológicas do meio em que se encontram esses microfósseis (Lopez *et al.*, 2006).

Ainda, existem outros fatores que podem promover as mudanças na cor e na microestrutura interna dos conodontes que não são necessariamente relacionados à temperatura e que ocorrem quando a rocha portadora é atravessada por fluídos (Epstein *et al.*, 1977; Rejebian *et al.*, 1987; Sarmiento & Garcia-Lopéz, 1996; Konigshof, 2003 e Lopez *et al.*, 2006).

Os elementos conodontes obtidos da seção analisada apresentam IAC entre 1,5 (50° a 90°) e 2,0 (60° a 140°), considerado impróprio para a formação de hidrocarbonetos, porém com potencial gerador para gás natural. Considerando somente

os valores de IAC obtidos seria esperado que os conodontes analisados apresentassem microestrutura do tipo lisa, uma vez que esta normalmente se encontra associada a valores de IAC inferiores ou iguais a 4.

Como esperado, em alguns horizontes, os elementos amostrados não sofreram alteração em sua estrutura externa e apresentam microestrutura lisa, como observado nos elementos obtidos dos níveis P2C0 (Figs. 19 Q e 19 R), P2C1 (Figs. 19 D e 19 G), P2C2 (Figs. 19 B, 19 C, 19 N e 19 O), P2C9 (Figs. 19 H, 19 I, 19 L, 20 A e 20 B), P2C11 (Fig. 19 A), P2C22 (Figs. 19 E e 20 C), P3C15 (Fig. 19 F).

Em outros horizontes, os elementos conodontes igualmente foram afetados de forma diferenciada e apresentam microestruturas sacarosa e granular. A ocorrência de microestrutura sacarosa pode ser observada em amostras dos horizontes P2C2 (Figs. 19 K, 19 P e 19 S) e P2C25 (Fig. 19 M). Já a ocorrência de microestrutura granular pode ser observada em amostras dos horizontes TAPTV 4 (Figs. 20 E, 20 F e 20 G), TAPTV 12 (Fig. 20 H), TAPCX 3.5 (Fig. 20 I), TAPCX3.1.1 (Fig. 20 J) e P2C25 (Fig. 20 D).

Em P2C2, os elementos obtidos se apresentam com aspecto grumoso/sacaroso (Figs. 19 K, 19 P e 19 S.), porém conservaram sua estrutura externa translúcida. Isto indica que a interferência de fluídos percolantes não promoveu o desenvolvimento de alterações significativas em sua microestrutura interior. Já em P2C9, os elementos conodontes foram afetados de forma diferenciada (Figs. 19 H, 19 I, 19 L, 20 A e 20 B), onde a totalidade de elementos amostrados se apresentam com aspecto polido, mas não se conservaram completamente translúcidos. Este horizonte corresponde a um *packstone bioclástico* de deposição preferencial na intermaré, sendo possível hipotetizar que a alteração na coloração dos elementos conodontes amostrados neste horizonte está vinculada à circulação de fluídos.

Em P2C25 ocorrem elementos conodontes recristalizados, apresentando microestruturas sacarosa (Fig. 19 M) e granular (Fig. 20 D). Nestes espécimes é possível identificar a precipitação de cristais em sua estrutura externa. Como a microestrutura granular está normalmente associada a elementos com  $IAC = 5$ , é provável que estes elementos apresentem, de fato, uma estrutura sacarosa pseudogranular, consequência de recristalização diagenética e vinculada à circulação de fluídos de baixa temperatura.

Dos horizontes TAPCX 3.5, TAPTV 4 e TAPTV 12 situados na base da seção estudada, as margens do Rio Tapajós, foram obtidos os elementos conodontes

com as piores condições de preservação. Estes apresentam microestrutura granular e estão intensamente desgastados (Fig. 20 H - TAPTV 12) e (Fig. 20 I - TAPCX 3.5), igualmente apresentando microestruturas externas completamente destruídas (Figs. 20 E, 20 F e 20 G - TAPTV 4) e (Fig. 20 J – TAPCX 3.1.1).

Dentre os horizontes cujos elementos conodontes apresentaram alterações em suas microestruturas externas estão: TAPCX3.1.1, TAPCX 3.5, TAPTV 4, TAPTV 12, P2C2 e P2C25. No nível P2C9, foram obtidos elementos sem evidências de alteração na microestrutura, porém apresentando um padrão de cores diferenciado do restante obtido na seção. Conforme já caracterizado no início deste capítulo, os horizontes TAPCX3.1.1, TAPCX 3.5, TAPTV 4 e TAPTV 12 situam-se nas margens do Rio Tapajós e são identificados como fácies siliciclásticas e dolomicríticas, com deposição em contexto marinho restrito, salino e sujeito a influxo de água doce, localizado na supramaré/intermaré superior. Os horizontes P2C2, P2C9 e P2C25 correspondem a *packstones bioclásticos* de deposição preferencial na intermaré em condições marinhas avaliadas como adequadas ao desenvolvimento de organismos.

Desta forma, verifica-se que embora exista um padrão de IAC entre 1,5 a 2,0 par a seção do Tapajós, não existe uma homogeneidade nas feições microestruturais entre os conodontes analisados, evidenciando circulação de fluídos na rocha portadora. De fato, de acordo com estudos desenvolvidos por Matsuda (2003) e Moutinho (2006), a micritização dos bioclastos, a substituição por silicificação e a presença de cimentação por calcita espática são feições comuns nos carbonatos da Formação Itaituba e importantes indicativos da atuação de processos diagenéticos precoces, sob influência de fluídos percolantes. Além destes, os autores fazem referência aos processos de dissolução em função da percolação de fluídos subsaturados, assim como a dolomitização diagenética na zona de mistura sob influência de águas meteóricas e indicam que estas também são feições comuns nos horizontes analisados.

Assim, são sugeridos estudos mais aprofundados acerca das alterações na microestrutura e na coloração dos elementos conodontes, preferencialmente associados a estudos litológicos, faciológicos e sobre a composição química das rochas que os contêm, de forma a identificar quais fatores atuaram na geração de mudanças na cor e na microestrutura interna destes elementos e que não sejam necessariamente relacionados à percolação de fluídos na rocha portadora. Assim, além de bioestratigraficamente, os conodontes da Formação Itaituba poderão ser úteis na identificação de metamorfismo nas rochas carbonáticas que os contêm, assim como na

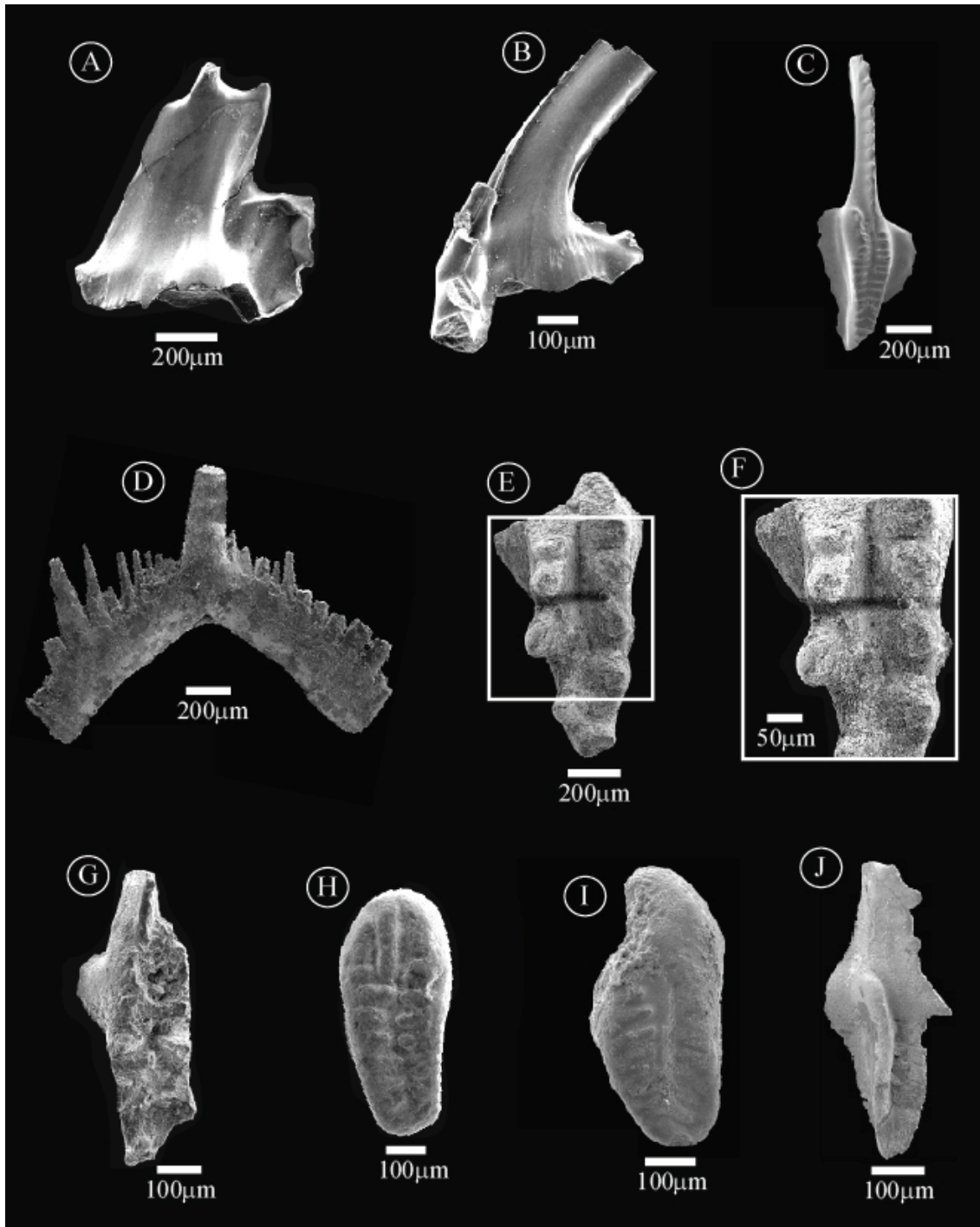
de determinação de paleotemperaturas, auxiliando, conseqüentemente na caracterização dos melhores horizontes relacionados à formação de recursos minerais, como hidrocarbonetos e gás natural.



**Figura 19.** Índice de alteração de cor e microestruturas externas dos elementos conodontes obtidos na seção estudada. Fotomicrografias em lupa binocular.

**A.** MP-M-792 (P2C11) *Idiognathodus incurvus* – Microestrutura lisa; **B.** MP-M-777 (P2C2) *Idiognathodus incurvus* - Microestrutura lisa; **C.** MP-M-778 (P2C2) *Neognathodus medadultimus* - Microestrutura lisa; **D.** MP-M-779 (P2C1) *Neognathodus roundyi* - Microestrutura lisa; **E.** MP-M-791 (P2C22) – *Idiognathoides*

*sinuatus* - Microestrutura lisa; **F.** MP-M-780 (P3C15) – *Neognathodus atokaensis* – Microestrutura lisa; **G.** MP-M-781 (P2C1) – *Idiognathodus incurvus* - Microestrutura lisa; **H.** MP-M-782 (P2C9) – *Idiognathoides sinuatus* - Microestrutura lisa; **I.** MP-M-783 (P2C9) – *Idiognathodus incurvus* - Microestrutura lisa; **J.** MP-M-784 (P2C22) – fragmento de lâmina livre de *Neognathodus* sp.; **K.** MP-M-785 (P2C2) – Elemento Sb–Microestrutura sacarosa; **L.** MP-M-772 (P2C9) – *Idioproniodus*; Microestrutura lisa; **M.** MP-M-721 (P2C25) – *Idioproniodus* sp.; Microestrutura sacarosa; **N.** MP-M-786 (P2C22) – fragmento de lâmina livre de *Idiognathoides sinuatus* – Microestrutura lisa; **O.** MP-M-787 (P2C2) – elemento Pb – Microestrutura lisa; **P.** MP-M-788 (P2C2) – elemento Pb – Microestrutura sacarosa; **Q.** MP-M-789 (P2C0) – elementos Pb – Microestrutura lisa; **R.** MP-M-790 (P2C0) – Ramiforme – Microestrutura lisa; **S.** MP-M-791 (P2C2) – Ramiforme – Microestrutura sacarosa.



**Figura 20.** Microestruturas externas dos elementos conodontes obtidos na seção estudada. Fotomicrografias em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

**A.** MP-M-722 (P2C9) *Idioproniodus* sp. microestrutura lisa; **B.** MP-M-727 (P2C9) *Idioproniodus* sp. – microestrutura lisa; **C.** MP-M-733 (P2C22) *Idiognathoides sinuatus* - microestrutura lisa; **D.** MP-M-726 (P2C25) *Ubinates* sp., microestrutura granular; **E.** MP-M-741 (TAPTV4) *Rhachistognathus muricatus* - microestrutura granular; **F.** MP-M-741 (TAPTV4) *Rhachistognathus muricatus* (ampliação) - microestrutura granular; **G.** MP-M-773 (TAPTV4) *Rhachistognathus muricatus* - microestrutura granular (acentuado processo de destruição da camada externa); **H.** MP-M-774 (TAPTV12) *Idiognathodus incurvus* - microestrutura granular (alteração na estrutura externa por desgaste); **I.** MP-M-775 (TAPCX3.5) *Idiognathodus incurvus* - microestrutura granular (alteração na estrutura externa por desgaste); **J.** MP-M-776



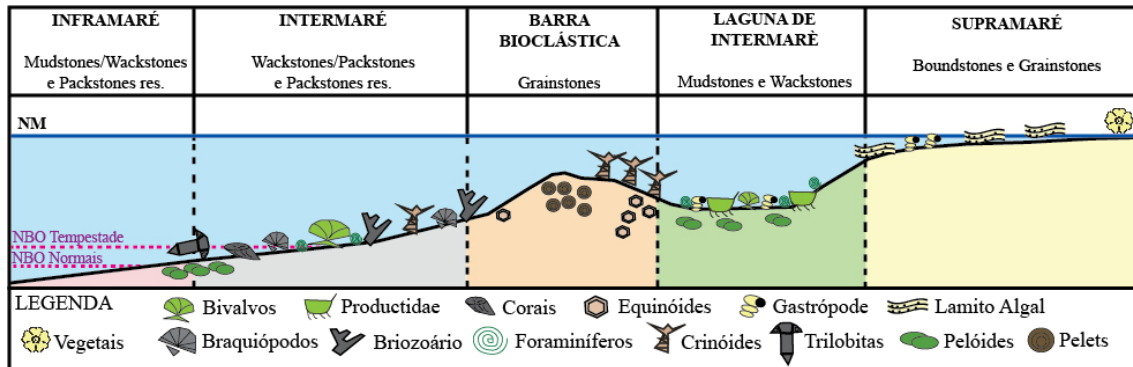
(TAPCX3.1.1) *Adetognathus lautus* - microestrutura granular (alteração na estrutura externa por desgaste).

### **3.1.5. Fauna associada**

Como discutido no capítulo 1, os estratos da Formação Itaituba são os depósitos mais ricos em fósseis marinhos da Bacia do Amazonas, com afinidade com as faunas da América do Norte, principalmente na região do Midcontinent, Apalaches e Illinois. Dentre os fósseis já encontrados nesta formação estão foraminíferos, corais, briozoários, crinóides, trilobitas, ostracodes, gastrópodes, bivalvos, braquiópodes, escolecodontes, peixes e conodontes. Os folhelhos e siltitos por vezes contêm crustáceos e plantas, indicativos de depósitos salobros e de água doce.

As associações faunísticas observadas nos horizontes estudados correspondem a comunidades bentônicas que ocorrem em diferentes associações e abundâncias, refletindo a influência das condições ambientais sobre seu desenvolvimento. Dentre os principais parâmetros ambientais que exercem importante papel na distribuição dos organismos estão as variáveis nas taxas de oxigenação, salinidade, taxas de sedimentação e energia ambientais. Assim, as associações faunísticas compostas por organismos eurialinos, como ostracodes, moluscos gastrópodes e foraminíferos, caracterizam ambientes restritos e são bons indicadores de condições deposicionais durante fases regressivas ou de mar baixo. Já as associações faunísticas principalmente compostas por braquiópodes, briozoários, corais e equinodermas, que são organismos estenoalinos, sensíveis a variações nos níveis de salinidade do ambiente, são boas indicativas de condições de mar aberto, associados a subidas do nível relativo do mar ou condições de mar alto.

A zona de supramaré (Fig. 17) apresenta condições ambientais desfavoráveis ao desenvolvimento de comunidades faunísticas e caracteriza-se pela ocorrência de laminitos microbiais em associação com elementos evaporíticos e sedimentos siliciclásticos. Os organismos que habitam esse contexto ambiental restringem-se a formas essencialmente eurialinas, como moluscos gastrópodes, bivalves e ostracodes (Fig. 21).



**Figura 21.** Distribuição das associações faunísticas através dos diferentes contextos ambientais existentes no perfil deposicional idealizado para a seção pensilvaniana aflorante na borda sul da Bacia do Amazonas. Discussão no texto.

A laguna de intermaré (Fig. 17), por tratar-se de um contexto restrito, de baixa energia, sujeito a maiores oscilações nas taxas de circulação e, conseqüentemente, salinidade e oxigenação, bem como pela natureza lamosa do substrato, é caracterizado pela ocorrência de organismos mais adaptados a essas condições, como foraminíferos fusulinídeos, moluscos gastrópodes, bivalves e ostracodes (Fig. 22.5), em associação com braquiópodos productídeos, que são dotados de espinhos curvados, interpretados como estruturas que promovem sua estabilidade no substrato lamoso (Fig. 21).

Ainda no contexto de intermaré, as barras bioclásticas e oolíticas caracterizam-se como zonas elevadas topograficamente e, conseqüentemente de maior energia (Fig. 17). Seus depósitos correspondem a *grainstones bioclásticos* e *oolíticos* estratificados, caracterizando o efetivo retrabalhamento pela ação de ondas e correntes sobre os depósitos esqueletais formados em profundidades não superiores a 5 metros. Nesse contexto as associações faunísticas não se desenvolvem, sendo os depósitos esqueletais compostos por elementos provenientes das áreas adjacentes, nos baixos topográficos (Fig. 21).

Nos baixos topográficos, ainda dentro da intermaré em estreita relação com as barras bioclásticas (Fig. 17), e dentro da zona de atuação das ondas normais, as comunidades faunísticas são compostas por organismos bentônicos adaptados a condições ambientais de maior energia. Dentre eles ocorrem, briozoários massivos incrustantes, que possuem zoários flexíveis, adaptados a tolerar certa turbulência no ambiente, foraminíferos fusulinídeos, diagnósticos de contextos de baixa energia, na retaguarda dos bancos bioclásticos e oolíticos, ostracodes, crustáceos e moluscos gastrópodes (Fig. 22.3) e bivalves tolerantes as variáveis ambientais (Fig. 21).

Outros elementos comuns a esses contextos protegidos são os crinóides, organismos bentônicos sésseis, de hábito alimentar suspensívoro e essencialmente habitantes de águas rasas, com movimentação por correntes, através das quais obtinham o alimento (Donovan, 1995). Não são organismos morfológicamente adaptados à elevada energia e sua distribuição depende de condições de baixa energia associada à circulação de nutrientes em águas rasas (Donovan, 1995). Desta forma, sua distribuição preferencial no perfil deposicional é nas áreas adjacentes aos bancos bioclásticos e oolíticos, dentro da intermaré (Fig. 21). Nesse caso, estariam preservados dos efeitos destrutivos das ondas normais, em função do abrandamento sofrido nos altos topográficos, em um contexto ambiental com constante circulação de água e nutrientes e com substrato composto por partículas bioclásticas, mais adequado a sua fixação.

No contexto ambiental de intermaré inferior/inframaré, dentro do nível de ação das ondas normais (Fig. 17), a associação faunística característica é composta por diversos organismos bentônicos (Fig. 21), dentre os quais ocorrem distintos gêneros de braquiópodes (Fig. 22.2) em associação com briozoários ramosos, cuja proporção tende a aumentar com a profundidade. Já as espécies incrustantes, preferem ambientes de águas mais rasas enquanto os briozoários ramosos, mais delicados, associam-se a contextos raramente afetados pela ação de ondas e correntes (Clarkson, 1984). Nestes contextos ambientais lamosos, de baixa energia, as larvas demonstram preferências quanto ao tipo de substrato para seu desenvolvimento, sendo as colônias normalmente encontradas em ambientes onde as partículas bioclásticas estão disponíveis para sua fixação e desenvolvimento (Clarkson, 1984). Com relação às adaptações morfológicas presentes nas carapaças de braquiópodes, relacionadas a estabilização destes organismos em substratos lamosos, destacam-se a assimetria das valvas nos braquiópodes articulados, presença de espinhos e superfícies expandidas, além de orientações preferenciais com relação ao substrato e fluxos de paleocorrentes (Alexander, 1986).

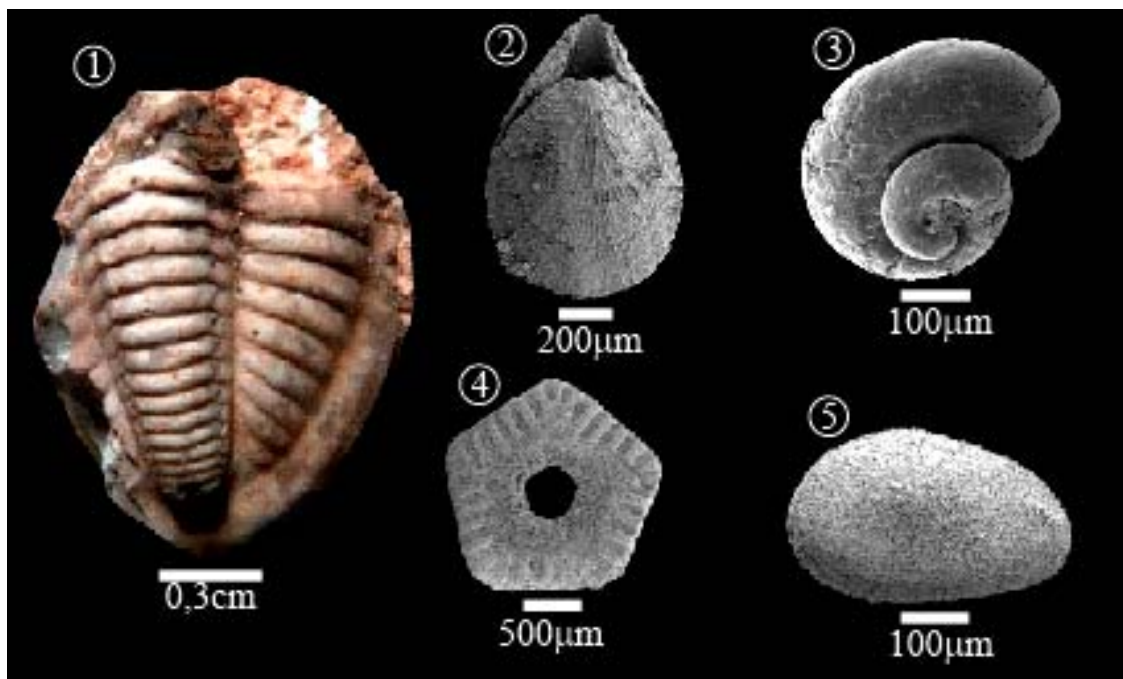
Dentre os braquiópodes estudados, estão os productídeos semi-infaunais que desenvolveram valvas ventrais maiores e convexas e espinhos, provavelmente auxiliando na sua fixação junto ao substrato, promovendo certo grau de estabilidade nos sedimentos lamosos. Os espiriferídeos, por sua vez, desenvolveram linhas de charneira amplas e alongadas, promovendo sua estabilização junto ao substrato (Rudwick, 1970).

Ainda na intermaré inferior/inframaré observa-se corais rugosos, organismos sensíveis aos efeitos destrutivos de elevada energia ambiental, ocupando contextos mais distais. Estes organismos não apresentam estruturas de fixação ao

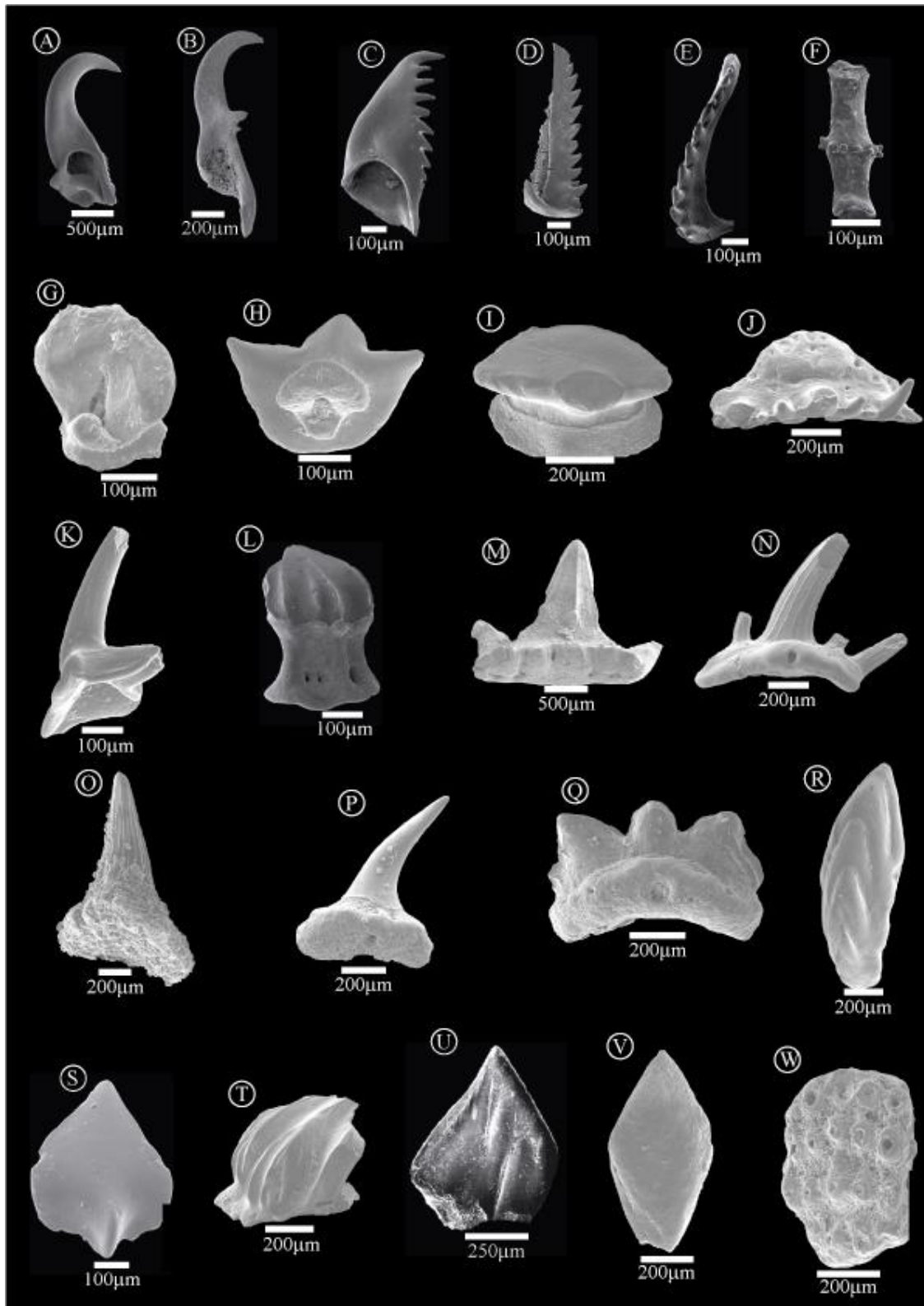
substrato e sua preferência por substratos moles explica sua morfologia curvada, que deve ter favorecido sua fixação e estabilização em sedimentos lamosos (Mendes, 1971; Vasconcelos, 1992).

Outros elementos comuns às comunidades bentônicas de intermaré inferior/inframaré são os foraminíferos fusulinídeos, ostracodes, equinóides (Fig. 22.4), trilobitas (Fig. 22. 1) e crustáceos, moluscos gastrópodes e bivalves. Adicionalmente, peixes e escolecodontes (Fig. 23) compreendem outros táxons que estão presentes. Especial atenção tem sido dada a esses últimos táxons, na elaboração de artigos científicos que breve serão disponibilizados a comunidade científica, sendo eles: (Nascimento & Távora, em preparação), versando sobre a fauna de escolecodontes e (Nascimento & Richter, em preparação), sobre dentes e escamas de peixes e tubarões.

Na inframaré inferior, em função das condições ambientais adversas, como baixa incidência de luminosidade e menores taxas de oxigenação, a diversidade taxonômica é reduzida, sendo as associações faunísticas compostas por organismo generalistas, como foraminíferos fusulinídeos, ostracodes, moluscos bivalves e gastrópodes e crustáceos (Fig. 21).



**Figura 22.** Elementos faunísticos associados aos conodontes na seção estudada. 1. Trilobita *Phillipsia (Ameura) plummeri* (P2 C57); 2. Braquiópode productídeo (P2 C53); 3. Gastrópode (P2 C1); 4. Coluna de crinóide (P2 C53); 5, Ostracode (P2 C42).



**Figura 23.** Fauna de escolecodontes e restos de peixes obtidos na seção estudada. **A.** MP-M-794 – escolecodonte (P2C9); **B.** MP-M-795 - escolecodonte (P1C21); **C.** MP-M-796 - escolecodonte (P1C21); **D.** MP-M-797 - escolecodonte (P2C9); **E.** MP-M-798 - escolecodonte (P2C11); **F.** MP-M-798 – escolecodonte (P2C53); **G.** MP-M-799 - dentes de peixe (*Cooleyella amazonensis*) (P2C55); **H.** MP-M-800 - dente de peixe (*Cooleyella amazonensis*) (P1C15); **I.** MP-M-801 - dente de peixe (*Cooleyella amazonensis*) (P1C10); **J.** MP-M-802 - dente de tubarão (P2C3/6); **K.** MP-M-803 -

dente de peixe (P2C24); **L.** MP-M-804 - dente de peixe (P1C8); **M.** MP-M-805 - dente de tubarão (P2C11); **N.** MP-M-806 - dente de tubarão (P2C53); **O.** MP-M-807 - dente de tubarão (P2C24); **P.** MP-M-808 - dente de tubarão (P2C25); **Q.** MP-M-809 - dente de tubarão (P1C20); **R.** MP-M-810 - dente de tubarão (P1C34); **S.** MP-M-811 - escama de peixe (P2C19); **T.** MP-M-812 - escama de condricties (TAPCX3.3); **U.** MP-M-813 - escama de actinoptérígio (P1C7); **V.** MP-M-814 - escama de actinoptérígio (P2C1); **W.** MP-M-815 - placa faríngea (TAPCX3.1).

### 3.2. Conclusões

Este trabalho foi desenvolvido visando o refinamento bioestratigráfico de parte da seção marinha do Grupo Tapajós, formações Monte Alegre e Itaituba, aflorante na borda sul da Bacia do Amazonas, focalizando o limite Morrowano/Atokano. Para tanto foi realizada: i) a classificação das espécies de conodontes coletadas na seção analisada, a identificação daquelas que foram encontradas pela primeira vez na região e seu posicionamento bioestratigráfico e ii) a correlação das informações cronológicas obtidas através do estudo dos conodontes com aquelas obtidas pela palinologia para um refinamento cronoestratigráfico mais detalhado.

Os fundamentos teóricos, a aplicação e as limitações de cada ferramenta de análise utilizada foram discutidos nos capítulos correspondentes e seus resultados, integrados ao longo do desenvolvimento do texto. Nesse capítulo, são resgatadas as contribuições de cada ferramenta utilizada e suas aplicações no refinamento bioestratigráfico do limite Morrowano/Atokano, formações Monte Alegre e Itaituba, aflorantes na borda sul da Bacia do Amazonas.

A partir da análise e identificação taxonômica dos elementos componentes das associações de conodontes amostradas na seção estudada:

1. foram identificados as espécies e gêneros componentes destas associações e feita a correlação de suas preferências ambientais com os parâmetros ambientais definidos para os horizontes dos quais foram obtidos:

2. foram identificados 3 novos gêneros de conodontes na Bacia do Amazonas:

*Ellisonia*, *Gondolella* e *Ubinates*, gêneros muito úteis para a bioestratigrafia e o estabelecimento de correlações com os estratos pensilvanianos da América do Norte, especialmente aqueles da região do *Midcontinent*. Também são importantes indicadores paleoecológicos e poderão contribuir nos estudos sobre a fauna de conodontes do pensilvaniano da Bacia do Amazonas.

3. foram identificadas as espécies úteis para correlações bioestratigráficas e realizado o refinamento bioestratigráfico da seção estuda.

A associação de conodontes analisada é composta, principalmente, por elementos *Pa* de *Idiognathodus incurvus*, *Neognathodus bothrops*, *N. bassleri*, *N.*

*medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *Idiognathoides sinuatus*, *Adetognathus lautus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*, *Hindeodus minutus* e menos comuns elementos *S* de *Ellisonia latilaminata*, *E. conflexa*, elementos *Sa* de *Ubinates advena* e elementos *M* de *Idioprioniodus* sp. e *Gondolella* sp.. Destes, as espécies úteis para correlações regionais e globais são *Diplognathodus orphanus*, *Idiognathodus incurvus*, *Declinognathodus marginodosos*, *Neognathodus atokaensis*, *N. bothrops*, e *Idiognathodus klapperi*.

O estudo destes elementos permitiu o refinamento bioestratigráfico do Carbonífero da Bacia do Amazonas, com o estabelecimento de duas zonas de amplitude do táxon: *Rhachistognathus muricatus*, marcando o Morrowano no limite entre as formações Monte Alegre e Itaituba; e *Diplognathodus orphanus*, que compreende os estratos inferiores da seção correspondente à pedreira 2 e se estende até a metade superior da pedreira 3, atribuindo idade atokana para a seção e uma cenozona: *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultimus*, que compreende a porção mediana das seções ao longo do Rio Tapajós e litoestratigraficamente corresponde a Formação Itaituba, de idade atokana.

Ainda, foram desenvolvidos estudos complementares com base em palinomorfos, para promover o refinamento biocronoestratigráfico da seção aflorante referente à Formação Itaituba. Para tanto foram utilizados os conodontes obtidos nos horizontes amostrados da pedreira 3, que incluem elementos *Pa* de *Idiognathodus*, *Diplognathodus*, *Idiognathoides*, *Adetognathus* e *Hindeodus*. Destes, as espécies *Diplognathodus orphanus* e *Idiognathodus incurvus* conferem a idade atokana aos depósitos analisados. Dentre os palinomorfos analisados, os de importância bioestratigráfica são: *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaeotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* and *Meristocarpus* sp. B de Playford & Dino (2000 b). Esta assembléia se refere à zona de *Striomonosaccites incrassatus* que ocorre na porção mediana da Formação Itaituba, de idade mesoatokana, em concordância com o posicionamento bioestratigráfico realizado com base em conodontes, confirmando idade atokana para a seção estudada.

4. No estudo de IAC, foi obtida como principal contribuição a constatação de que:



Os elementos conodontes da seção analisada apresentam IAC entre 1,5 (50° a 90°) e 2,0 (60° a 140°), considerados impróprios para a formação de hidrocarbonetos, porém com potencial gerador para gás natural.

Enquanto em alguns horizontes os elementos amostrados não sofreram alteração em sua estrutura externa e apresentaram microestrutura lisa, em outros, foram afetados de forma diferenciada apresentando microestruturas sacarosa e granular. Entretanto, como os valores médios de IAC dos elementos conodontes da seção são inferiores a um, sua utilidade como determinantes de paleotemperaturas permanece inalterada.

5. Foram analisados os elementos faunísticos que ocorrem associados aos conodontes e feita a correlação de suas preferências ambientais com os parâmetros ambientais definidos para os horizontes dos quais foram obtidos. Dentre estes estão foraminíferos, corais, briozoários, crinóides, trilobitas, ostracodes, gastrópodes, bivalvos, braquiópodes, escolecodontes e peixes que tiveram sua distribuição ambiental plotada através dos diferentes contextos ambientais existentes no perfil deposicional idealizado para a seção pensilvaniana aflorante na borda sul da Bacia do Amazonas.

### 3.3. Recomendações

Constatadas as principais necessidades metodológicas que poderão contribuir nos estudos com conodontes na Bacia do Amazonas sugere-se:

1. Dar continuidade aos trabalhos bioestratigráficos na seção junto às margens do Rio Tapajós, procurando ampliá-la abaixo dos pontos já coletados para este trabalho;

2. A busca por coleta e desenvolvimento de mais estudos com *Ellisonia*, *Gondolella* e *Ubinates*, devido a sua importância bioestratigráfica e paleocológica;

3. A revisão do gênero *Idioproniodus* descrito em trabalhos anteriores da Bacia do Amazonas, tendo em vista sua morfologia semelhante aos elementos de *Ellisonia* e *Gondolella*;

4. Revisão de elementos conodontes não-plataformados buscando identificar através de tais elementos, gêneros ainda desconhecidos para a Bacia do Amazonas;

5. O desenvolvimento de estudos mais aprofundados acerca das alterações na microestrutura e na coloração dos elementos conodontes, preferencialmente associados a estudos litológicos, faciológicos e sobre a composição química das rochas que os contêm;

6. O desenvolvimento de um estudo histológico dos elementos conodontes, visando complementar dados obtidos pelo estudo de IAC e pela análise das alterações nas microestruturas externas e internas dos elementos. Desta forma, avaliar melhor o grau de preservação das lamelas internas daqueles conodontes cuja microestrutura externa foi alterada;

7. Realizar trabalhos de histologia comparada entre os exemplares da Bacia do Amazonas e da América do Norte em especial do *Midcontinent*;

8. Empreender estudos mais detalhados em relação à fauna associada, principalmente de grupos como os escolocodotes e peixes, abundantes na área de trabalho.

## REFERÊNCIAS

---

ALDRIDGE, R. J.; BRIGGS, D. E. G. 1986. Conodonts. In: HOFFMAN A., NITECKI M. H. **Problematic Fossil Taxa**. New York: Oxford University Press, p. 227-239. (Oxford Monographs on Geology and Geophysics, v. 5.).

ALDRIDGE, R. J.; BRIGGS, D. E. G.; CLARKSON, E. N. K., SMITH, M. P. 1986. The affinities of conodonts: new evidence from the Carboniferous of Edinburgh, Scotland. **Lethaia**, v. 19, p. 279-291.

ALDRIDGE, R. J.; SMITH, M. P.; NORBY, R. D.; BRIGGS, D. E. G. 1987. The architecture and function of Carboniferous polygnathacean conodont apparatuses. In: Aldridge, R. J. (Ed.). **Palaeobiology of conodonts**. Chichester: Ellis Horwood. p. 63-75.

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.

ALEXANDER, R. R. 1986. Life Orientation and Post-Mortem reorientation of Chesterian Brachiopod Shells by Paleocurrents. **Palaios**, v. 1, p. 303-311.

ALTINER, D.; SAVINI, R. 1991. Pennsylvanian Foraminifera and Carbonate Microfacies from the Amazon and Solimões Basins: Biostratigraphic, Paleocologic 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.

ANSTEY, R. L.; CHASE, T. L. 1974. **Environments through time**. A laboratory manual in the interpretation of ancient sediments and organisms. Minneapolis, Burgess. 136p.

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.

AUSTIN, R. L. 1987. **Conodonts: Investigative techniques and applications**. Ellis Horwood. 562p. (British Micropaleontological Society Series).

BAESEMANN, J. F. 1973. Missourian (Upper Pennsylvanian) conodonts of the Northeastern Kansas. **Journal of Paleontology**, v. 47, n. 4, p. 689-710.

BAESEMANN, J. F.; LANE, H. R. 1985. Taxonomy and evolution of the genus *Rachistognathus* Dunn (Conodonta: Late Mississippian to Early Pennsylvanian). **Courier Forschungsinstitut Senckenberg**, v. 74, p. 93-136.

BAESEMANN, J.; PURNELL, M. 2000. *Ubinates*, a new name for the genus *Aethotaxis* Baesemann, 1973 (Vertebrata, Conodonta) preoccupied by *Aethotaxis* De Witt, 1962 (Vertebrata, Osteichthyes). **Journal of Paleontology**, n. 74, 544p.

BARRICK, J. E.; BOARDMAN, II D. R. 1989. Stratigraphic distribution of morphotypes of *Idiognathodus* and *Streptognathodus* in Missourian –lower Virgilian strata, north-central Texas. In: Boardman, D. R.; Barrick, J. E.; Cocke, J. M.; Nestell, M. (Ed.). **Late Pennsylvanian chronostratigraphic boundaries in north-central Texas – glacial-eustatic events, biostratigraphy and paleoecology, a guidebook with contributed papers**. v. 2, p. 167-188. Texas Tech University Studies in Geology 2.

BARRICK, J. E.; HECKEL P. H. 2000. A provisional conodont zonation for Late Pennsylvanian (Late Carboniferous) strata in Midcontinent Region of North America. **Newsletter on Carboniferous Stratigraphy**, v. 18, p. 15-22.

BARRICK, J. E.; HECKEL P. H.; BOARDMAN, II D.R. 1999. Evolutionary patterns in Late Pennsylvanian *Idiognathodus* and *Streptognathodus* and implications for chronostratigraphic boundary characterization and recognition. **Kansas Geological Survey Open File Report**, v. 99, n. 27, p. 178-185.

BENDER, H.; STOPEL, D. 1965. Perm Conodonten. **Geologisches Jahrbuch**, v. 82, p. 331-364.

BENDER, K. P. 1980. Lower and Middle Pennsylvanian conodonts from the Canadian Arctic Archipelago. **Paper Geological Survey of Canada**, v. 7, p. 9-15.

BENGSTON, S. 1983. A functional model for conodonts apparatus. **Lethaia**, v. 16, 38p.

BENLLOCH, M. M.; DE SANTISTEBAN, C. 1993. Dolomitization as an eventual determining factor in the colour alteration index (CAI). **Geobios**, v. 26, p. 745-750.

BLIECK, A. 1992. At the Origin of Chordates. **Geobios**, v. 25, p. 101-113.

BOARDMAN, II D. R.; HECKEL, P. H.; BARRICK, J. E.; NESTELL, M.; PEPPERS, R. A. 1990. Middle-Upper Pennsylvanian Chronostratigraphic Boundary in the Midcontinent Region of North America. **Courier Forschungsinstitut Senckenberg**, v. 130, p. 319-337.

BRIGGS, D. E. G.; CLARKSON, E. N. K.; ALDRIDGE, R. J. 1983. The conodont animal. **Lethaia**, v. 16, p. 1-14.

BRIGGS, D. E. G.; ALDRIGE, R. J.; SMITH, M. P. 1987. conodonts are not aplacophoran molluscs. **Lethaia**, v. 20, p. 381-382.

BRIGGS, D. E. G. 1992. Conodonts: A major extinct group added to the vertebrates. **Science**, v. 256, p. 1285-1286.

BROWN, L. M.; REXROAD, C. B.; EGGERT, D. L.; HOROWITZ, A. S. 1991. Conodont Paleontology of the Providence Limestone Member of the Dugger Formation (Pennsylvanian, Desmoinesian) in the southern part of the Illinois Basin. **Journal of Paleontology**, v. 65, p. 945-957.

BURCHETTE, T. P., WRIGHT, V. P. 1992. Carbonate ramp depositional systems. **Sedimentary Geology**, v. 79, p. 3-57.

CAPUTO, M. V. 1984. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. 1984. 582f. (Ph.D. Dissertation) - University of California, Santa Barbara.

CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D. N. N. 1971. Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. Belém: PETROBRÁS/RENOR. (PETROBRÁS report). 641-A. Não publicado.

CAROZZI, A. V.; ALVES, R. J.; CASTRO, J. C. 1972. Controle tectônico sedimentar dos carbonatos permo-carboníferos das formações Itaituba e Nova Olinda da bacia do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26. Belém, 1972. **Anais...** Belém: SBG. v. 3, p. 47-64.

CLARK, D. L.; ETHINGTON, R. L. 1962. Survey of Permian conodonts in western North America. **Brigham Young University Geological Studies**, v. 9, n. 2, p. 102-114.

CLARK, D. L. 1972. Early Permian crisis and its bearing on Permo-Triassic conodont taxonomy. **Geológica eta Palaeontologica**, v. SB1, p. 147-158.

CLARKSON, E. N. K. 1984. **Invertebrate Paleontology and Evolution**. 7. ed.: Butler & Tanner Ltda, London, 323p.

CONWAY-MORRIS, S. 1989. Conodont palaeobiology: recent progress and unsolved problems. **Terra Nova**, v. 1, p. 135-150.

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.

CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; COUTINHO, L. F. C.; FEIJÓ, F. J., 1994. Bacia do Amazonas: **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, v. 8, n. 1, 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.

DAVIS, L. E.; WEBSTER, G. D. 1985. Late Mississippian to Early Pennsylvanian Conodont Biofacies in Central Montana. **Lethaia**, v. 18, p. 67-72.

DEWITT, H. H. 1962. A New Antarctic Nototheniid Fish With Notes on Two Recently Described Notothenii Forms. **Copeia**, v. 1962, p. 826-33.

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.

DUFFIN, C. J.; RICHTER, M.; NEIS, P. A. 1996. Shark remains from the Late Carboniferous of the Amazon Basin, Brazil. **Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie**, v. 4, p. 232-256

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.

DZIK, J. 1976. Remarks on the evolution of Ordovician conodonts. **Acta Paleontologica Polonica**, v. 21, n. 4, p. 395-455.

EIRAS, J. F.; SILVA, O. B.; MATSUDA, N. S.; HOOK S. C. 1998. Guide Book and Virtual Field Trip to the Amazon Basin. In: **AAPG International Conference and Exhibition**, 1998. Field Guide, Rio de Janeiro. (CD-ROM).

ELLISON, S. 1941. Revision of the Pennsylvanian Conodonts. **Journal of Paleontology**, v. 15, n. 2, p. 107-43.

EPSTEIN, A. G.; EPSTEIN, J. G.; HARRIS, L. D. 1977. Conodont color alteration - an index to organic metamorphism. **U.S. Geological Survey Professional Paper**, 995: 27p.

FOREY, P.; JANVIER, P. 1993. Agnathans and the origin of jawed vertebrates. **Nature**, v. 361, p. 129-134.

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.

FREYDANK, H. G. 1957. Geology of the Rio Jatapu and Rio Capucapu. **Relatório interno PETROBRÁS**, n. 156A, Belém.

GRAYSON, R. C. Jr. 1979. Stop descriptions – Fifth day. In: SUTHERLAND, P. K., MANGER, W. L. (Ed.) Mississippian-Pennsylvanian shelf-to-basin transition, Ozark and Ouachita regions, Oklahoma and Arkansas. **Oklahoma Geological Survey Guidebook**, v. 19, p. 67-76.

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.

GRAYSON, R. C. Jr. 1990. Canyon Creek: A Significant Exposure of a Predominantly Mudrock Succession Recording Essentially Continuous Deposition from the Late Devonian through the Middle Pennsylvanian. **Oklahoma Geological Survey Guidebook**, v. 27, p. 85-114.

GRAYSON, R. C. Jr.; MERRILL, G. K.; LAMBERT, L. L.; TURNER, J. 1989. Phylogenetic Basis for Species Recognition within the Conodont Genus *Idiognathodus*: Applicability to Correlation and Boundary Placement. In: BOARDMAN, II D. R.; BARRICK, J. E.; COCKE, J.; NESTELL, M. K. (Ed.) **Middle and Late Pennsylvanian Chronostratigraphic boundaries in northcentral Texas**, p: 75-94. Texas Tech University Studies in Geology, 2.

GRAYSON, R. C. Jr.; MERRILL, G. K.; LAMBERT, L. L.; TURNER, J. 1990. Carboniferous gnathodontid conodont apparatuses: evidence of a dual origin for Pennsylvanian taxa. **Courier Forschungsinstitut Senckenberg**, v. 118, p. 353-396.

GRUBBS, R. K. 1984. Conodont Platform Elements from the Wapanucka and Atoka Formations (Morrowan-Atokan) of the Mill Creek Syncline Central Arbuckle Mountains, Oklahoma. **Oklahoma Geological Survey Bulletin**, v. 136, p. 65-79.

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

GUNNELL, F. H. 1933. Conodonts and Fish Remains from the Cherokee, Kansas City and Wabaunsee Groups of Missouri and Kansas. **Journal of Paleontology**, v. 7, n. 3, p. 261-297.

HARLTON, B. 1933. Micropaleontology of the Pennsylvanian Johns Valley Shale of the Ouachita Mountains, Oklahoma, and its relationship to the Mississippian Cancy Shale. **Journal of Paleontology**, v. 7, n. 1, p. 3-29.

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

HARTT, C. P. 1874. Report of a reconaissance of the Lower Tapajós. **Bulletin Cornell University, (Science)**, v. 1, p. 1-37.

IGO, H.; KOIKE, T. 1964. Carboniferous conodonts from the Omi Limestone, Niigata - Prefecture, Central Japan (Studies of Asian Conodonts, Part I). **Transaction and Proceedings Paleontological Society of Japan**, v. 53, p. 179-193.

IGO, H.; KOIKE, T. 1965. Carboniferous conodonts from Yobara Akiyoshi Limestone. Japan (Studies of Asiatic Conodonts, Part II). **Transactions and Proceedings Palaeontological Society of Japan**, v. 59, p. 83-91.

JANVIER, P. 1995. Conodonts join the club. **Nature**, v. 374, p. 761-762.

JANVIER, P. 1988. Conodont affinity: a reply. **Lethaia**, v. 21, p. 27.

JANVIER, P. 1996. Evolution, palaeobiogeography, and life history. In: **Early Vertebrates, Oxford Monographs on Geology and Geophysics**, v. 33, p. 281-284.

KEGEL, W. 1951. Sobre alguns trilobitas carboníferos do Piauí e do Amazonas. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, Rio de Janeiro, v. 135, 38p.

KONIGSHOF, P. 2003. Conodont deformation patterns and textural alteration in Paleozoic conodonts: examples from Germany and France. Senckenberg. **Lethaea**, v. 83, n. 1/2, p. 149-156.

LAMBERT, L. L.; BARRICK, J. E.; HECKEL, P. H. 2001. Provisional lower and middle Pennsylvanian conodont zonation in Midcontinent North America. **Newsletter on Carboniferous Stratigraphy**, v. 19, p. 50-55.

LANDING, E.; WARDLAW, B. R. 1981. Atokan Conodonts from the Pennsylvanian Outlier of the Michigan Basin. **Journal of Paleontology**, v. 55, n. 6, p. 1251-1269.

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.



LANE, H. R. 1977. Morrowan (Early Pennsylvanian) conodonts of northwestern Arkansas and northeastern Oklahoma. Oklahoma, **Geological Survey Guidebook**, v. 18, p. 177-180.

LANE, H. R.; MERRILL G. K.; STRAKA, II J. J.; WEBSTER G. D. 1971. North American Pennsylvanian Conodont Biostratigraphy. **Geological Society of America Memoir**, v. 127, p. 395-414.

LANE, H. R.; STRAKA, II J. J. 1974. Late Mississippian and Early Pennsylvanian Conodonts, Arkansas and Oklahoma. **Geological Society of America Special Paper**, v. 152, 144p.

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

LÓPEZ, G.; FERRERA, B; LÓPEZ, S. 2006. Aplicación de los conodontos al conocimiento de la evolución tectotérmica de las zonas externas de los orógenos. **Revista española de Micropaleontología**, v. 38, n. 2/3, p. 289-297.

MATSUDA, N. S. 2003. **Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite in the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazon Basin – Northern, Brazil**. 2003. 231p. (Ph.D. thesis) -Department of Earth & Planetary Science. University of Tokyo, Tokyo, Japan.

MATSUDA, N. S.; DINO, R.; WANDERLEY FILHO, Jr. 2004. Revisão Litoestratigráfica do Grupo Tapajós, Carbonífero Médio – Permiano da Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, v. 12, n. 2, p. 435-441.

MENDES, J. C. 1971. **Bacia do Amazonas: Geologia do Brasil**. Instituto Nacional do Livro, Rio de Janeiro, p. 35-50.

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. 1973. Pennsylvanian Nonplatform Conodont Genera, I: *Spathognathodus*. **Journal of Paleontology**, v. 47, n. 2, p. 289-314.

MERRILL, G. K. 1975. Pennsylvanian Conodont Biostratigraphy and Paleoecology of Northwestern Illinois. Microform Publication, **Geological Society of America**, v. 3, 130p.

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.; KING, C. W. 1971. Platform Conodonts from the Lowest Pennsylvanian Rocks of Northwestern Illinois. **Journal of Paleontology**, v. 45, n. 4, p. 645-664.

MERRILL, G. K.; VON BITTER, P. H. 1976. Revision of conodont biofacies nomenclature and interpretations of environmental controls in Pennsylvanian rocks of eastern and central North America. Royal Ontario Museum, **Life Sciences Contributions**, v. 108, p. 1-46.

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.; ZALAN, P. V. 1998. Brazilian Geology Part 1: The Geology of Paleozoic Basins and Mesozoic Interior Rifts of Brazil. In: AAPG INTERNATIONAL

CONFERENCE AND EXHIBITION, 1998. Rio de Janeiro. **Short Course Notes...**, Rio de Janeiro: AAPG.

MONTALVÃO, R. M. G.; BEZERRA, P. E. L. 1980. Geologia e Tectônica da Plataforma (Cráton) Amazônica (Parte da Amazônia Legal Brasileira). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 10, 27p.

MOUTINHO, L. P. 2002. **Estudo da Fauna de Invertebrados em Afloramentos da Região de Tapajós, Formação Itaituba – Pensilvaniano da Bacia do Amazonas**. 2002. 155f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOUTINHO, L. P. 2006. **Assinaturas tafonômicas dos invertebrados da formação Itaituba – aplicação como ferramenta de análise estratigráfica e paleocológica na seção pensilvaniana aflorante na porção sul da Bacia do Amazonas, Brasil**. 2006. 325f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MULLER, K. J. 1956. Triassic conodont from Nevada. **Journal of Paleontology**, v. 30, p. 818-830.

MULLER, K. J. 1981. Zoological Affinities of Conodonts. In: ROBINSON, R. A., (Ed.). **Treatise on invertebrate Paleontology**. Kansas: Geological Society of America and University Press Part W, p. W79 – W82. Suppl. 2: Conodonta.

NAIL, R. S.; BARRICK, J. I.; RITTER, S. M. 1996. Preliminary Fusulinid and Conodont Biostratigraphy of the Honaker Trail Formation (Late Middle Pennsylvanian-Late Pennsylvanian) in the Gibson Dome 1 and Elk Ridge 1 Cores, Paradox Basin, Utah. **Utah Geological Association Guidebook**, v. 25, p. 303-311.

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, n. 3, p. 193-202.

NASCIMENTO, S.; LEMOS, V. B.; SCOMAZZON, A. K.; MOUTINHO, L. P.; MATSUDA, N. S.; SILVA, C. P. - First Occurrence of *Ellisonia* in Brazil - Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazon Basin. **Revista Española de Micropaleontologia**. No prelo.

NASCIMENTO, S.; SCOMAZZON, A. K.; MOUTINHO, L. P.; LEMOS, V. B.; MATSUDA, N. S. Conodont Biostratigraphy and Paleocology of Lower Pennsylvanian Marine Calcareous Profile - Itaituba Formation, Southern Region of Amazonas Basin. **Revista Pesquisas em Geociências**. No prelo.

NASCIMENTO, S.; SMANIOTTO, L. P.; SOUZA, P.A.; LEMOS, V. B.; SCOMAZZON, A.K. Biochronostratigraphy (Conodonts and Palynology) from the Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin. **Revista Pesquisas em Geociências**. No prelo.

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.

PANDER, C. H. 1856. **Monographie der fossilen Fische des silurische Systems der russisch-baltischen Gouvernements**. Saint Petersburg, 91p.

PEPPERS, R. A. 1996. **Palynological Correlation of Major Pennsylvanian Chronostratigraphic Boundaries in the Illinois and other Coal Basins**. Geological Society of America Memoir, 188p.

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.

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.

PURNELL, M. A. 1993. Feeding mechanisms in conodonts and the function of the earliest vertebrate hard tissues. **Geology**, v. 21, p. 375-377.

PURNELL, M. A.; ALDRIDGE, R. J.; DONOGHUE, P. C. J.; GABBOTT, S. E. 1995. Conodonts and the First Vertebrates. **Endeavour**, v. 19, n. 1, p. 20-27.

READ, J. F. 1985. Carbonate platform facies models. **American Association of Petroleum Geologists**, v. 69, p. 1-21.

REJEBIAN, V. A.; HARRIS, A. G.; HUEBNER, J. S. 1987. Conodont color and textural alteration: An index to regional metamorphism, contact metamorphism, and hydrothermal alteration. **Geological Society of America Bulletin**, v. 99, p. 471-479.

REXROAD, C. B.; BROWN, L. M.; DEVERA, J.; SUMAN, R. J. 1998. Conodont Biostratigraphy and Paleoecology of the Perth Limestone Member, Stauton Formation (Pennsylvanian) of the Illinois Basin, U.S.A. **Paleontologia Polonica**, v. 58, p. 247-259.

REXROAD, C. B.; BROWN, L. M.; WADE, J. A.; MERRILL, G. K., PADGETT, P. 2001. Conodont Biostratigraphy and Depositional Environments of the Mecca Quarry Shale Member and the Velpen Limestone Member of the Linton Formation (Pennsylvanian, Desmoinesina) in the Eastern Part of the Illinois Basin, U.S.A. **Indiana Geological Survey, Special Report**, v. 63, 19p.

RHODES, F. H. 1963. Conodonts from the topmost Tensleep Sandstone of the eastern Big Horn Mountains, Wyoming. **Journal of Paleontology**, v. 37, p. 401-408.

RITTER, S. M. 1994. New species and subspecies of *Streptognathodus* (Conodonta) from the Virgilian (Late Carboniferous) of Kansas. **Journal of Paleontology**, v. 68, p. 870-877.

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

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.

RODRIGUES, R.; SOLIANI Jr, E.; TAKAKI, T.; SATO, K.; KAWASHITA, K. 1997. Indicação Cronostratigráfica, com Base em Isótopos de Estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), das Formações Andirá (Bacia do Amazonas) e Cruzeiro do Sul (Bacia do Acre). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 69, n. 2, pl. 173-178.

ROSS, C. A.; ROSS, J. R. P. 1985. Late Paleozoic sequences are synchronous and worldwide. **Geology**, v. 13, p. 194-197.

ROWLEY, D. B.; RAYMOND, A.; PARRISH, J. T.; LOTTES, A. L. 1985. Carboniferous paleogeographic, phythogeographic and paleoclimatic reconstructions. International. **Journal of Coal Geology**, v. 5, p. 7-42.

RUDWICK, M. J. S. 1970. **Living and Fossil Brachiopods**. London: Hutchinson University Library, 199p.

SANSOM, I. J.; SMITH, M. P.; ARMSTRONG, H. A. 1992. Presence of the earliest vertebrate hard tissues in conodonts. **Science**, v. 256, p. 1308-1311

SANSOM, I. J.; SMITH, M. P.; SMITH, M. M. 1994. Dentine in conodonts. **Nature**, v. 368, p. 591p.

SARMIENTO, G. N.; GARCIA-LOPÉZ, S. 1996. El método del Índice de Alteración del Color (CAI) de los conodontos: limitaciones y posibilidades. Ejemplos de su aplicación en el Hercínico Ibérico. **Revista de la Sociedad Geológica de España**, v. 9, p. 112-123.

SAVAGE, N. M.; BARKELEY, S. J. 1985. Early to Middle Pennsylvanian Conodonts from the Klawak Formation and the Ladrones Limestone, Southeastern Alaska. **Journal of Paleontology**, v. 59, n. 6, p. 1451-1475.

SAVINI, R.; ALTINER, D. 1989. A Fauna de Fusulinídeos do poço 1-NO-1-AM (Bacia do Amazonas): Implicações para um novo posicionamento cronoestratigráfico da Formação Itaituba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11. Curitiba, PR, 1989. **Anais...** Curitiba: SBG, p. 107-124.

SCHIMDT, H. 1934. Conodonten-Funde in ursprünglichem Zusammenhang: **Palaeontology**, v. 16, p. 76-85.

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 Pós-graduação 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.

SCOTSE, C. R.; MCKERROW, W. S. 1990. Revised World maps and introduction. **Geological Society Memoir**, v. 12, p. 1-21.

SCOTT, H. W. 1934. The zoological relationships of the conodonts. **Journal of Paleontology**, v. 8, p. 448-455.

SELLEY, R. C. 1970. **Ancient sedimentary environments.** A Brief Survey. Ithaca: Harper and Row. 327p.

SHINN, E. A. 1983. Tidal Flat Environment. In: SCHOLLE, P. A.; BEBOUT, DON G.; MOORE, C. H. (Ed.). **Carbonate Depositional Environments**, American Association of Petroleum Geologists, n. 33, p.172-210.

SILVA, O. B. 1996. **Ciclicidade Sedimentar no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas e o Controle dos Ciclos de Sedimentação na Distribuição Estratigráfica dos Conodontes, Fusulinídeos e Palinomorfos.** 1996. 331f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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.

STAUFFER, C. R.; PLUMMER, H. J. 1932. Texas Pennsylvanian Conodonts and Their Stratigraphic Relations. **Texas University Bulletin**, v. 3201, p. 13-50.

STIBANE, F. R. 1967. Conodonten des Karbons aus den nördlichen Anden Südamerikas. **Neues Jahrbuch Geologische Paläontologische Abhandlungen**, v. 128, n. 3, p. 329-340.

SUTHERLAND, P. K.; MANGER, W. I. 1977. Upper Chesterian-Morrowan Stratigraphy and the Mississippian-Pennsylvanian boundary in Northeastern Oklahoma and Northwestern Arkansas. Oklahoma Geological Survey Guidebook 8, for field trip n 5, preceding. In: NORTH AMERICAN PALEONTOLOGICAL CONVENTION, 1977, p. 177-185.

SUTHERLAND, P. K.; MANGER, W. I. (Ed.) 1984. The Atokan Series (Pennsylvanian) and its Boundaries – A Symposium. In: **Oklahoma Geological Survey Bulletin**, v. 136, 198p.

SUTHERLAND, P. K.; GRAYSON, R. C. Jr. 1992. Morrowan and Atokan (Pennsylvanian) Biostratigraphy in the Ardmore Basin Oklahoma. **Oklahoma Geological Survey Circular**, 94: 81-99.

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.

SWEET, W. C.; BERGSTRÖM, S. M. 1981. Biostratigraphy and evolution. In: Robison, R. A., (Ed.). Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellanea, Suppl. 2, Conodonta. Lawrence, **Geological Society of America**, p. W92-W101.

SWEET, W. C.; DONOGHUE, P. C. J. 2001. Conodonts: Past, Present, Future. **Journal of Paleontology**, v. 75, n. 6, p. 1174-1184.

SWEET, W. C.; ETHINGTON, R. L.; BARNES, C. R. 1970. North American Middle and Upper Ordovician conodont faunas. In: SWEET, W. C.; BERGSTROM, S. M.

(Ed.). **Symposium on conodont biostratigraphy**: Geological Society of America Memoir 127, p. 163-193.

SZANIAWSKI, H. 1987. Preliminary structural comparisons of protoconodont, paraconodont, and euconodont elements. In: R. J. Aldridge. (Ed.). **Palaeobiology of Conodonts**. Chichester: Ellis Horwood. p. 35-47.

SZATMARI, P.; CARVALHO, R. S.; SIMÕES, I. A. 1975. **Evaporitos da Bacia do Amazonas**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/DEPEX. Relatório Interno da PETROBRÁS. 128p.

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.

TUCKER, M. E. 1992. *Sedimentary Petrology - an introduction to the origin of sedimentary rocks*. 252p.

TYNAN, M. C. 1980. Conodont biostratigraphy of the Mississippian Chainman Formation, Western Millard County, Utah. **Journal of Paleontology**, v. 54, n. 6, p. 1282-1309.

VON BITTER, P. H. 1972. Environmental control of conodont distribution in the Shawnee Group (Upper Pennsylvanian) of eastern Kansas. **University of Kansas Paleontological Contributions**, v. 59, p. 1-105.

VON BITTER, P. H. 1976. The apparatus of *Gondolella sublanceolata* Gunnell (Conodontophorida, Upper Pennsylvanian) and its relationship to *Illinella* typical Rhodes. **Royal Ontario Museum Life Sciences Contributions**, v. 109, p. 1-44.

VON BITTER, P. H.; MERRILL, G. K. 1980. Naked species of *Gondolella* (Conodontophorida); Their distribution, taxonomy, and evolutionary significance. **Royal Ontario Museum Life Sciences Contributions**, v. 125, p. 1-49.

VON BITTER, P. H.; MERRILL, G. K. 1983. Late Palaeozoic species of *Ellisonia* (Conodontophorida). Royal Ontario Museum. **Life Sciences Contributions**, v. 136, p. 1-57.

VON BITTER, P. H.; MERRILL, G. K. 1998. Apparatus composition and structure of the Pennsylvanian conodont genus *Gondolella* based on assemblages from the Desmoinesian of northwestern Illinois USA. **Journal of Paleontology**, v. 72, p. 112-132.



YOUNGQUIST, W. L.; HAWLEY, R. W.; MILLER, A. K. 1951. Phosphoria conodonts from southeastern Idaho. **Journal of Paleontology**, v. 25; n. 3; p. 356-364.

WHITESIDE, J. R.; GRAYSON, R .C. Jr. 1990. Carboniferous Conodont Faunas, Northern Ouachita Mountains, Oklahoma. Geology and Resources of the Frontal Belt of the Western Ouachita Mountains, Oklahoma. **Oklahoma Geological Survey. Guidebook for Field Trip**, n. 2, p. 149-167.

WINDLEY, B. F. 1984. **The evolving continents**. 399p.

***CAPÍTULO 4***

FIRST OCCURRENCE OF *ELLISONIA* IN BRAZIL - ITAITUBA  
FORMATION, PENNSYLVANIAN OF THE AMAZONAS BASIN

SARA NASCIMENTO\*<sup>1</sup>, VALESCA BRASIL LEMOS<sup>1</sup>, ANA KARINA  
SCOMAZZON<sup>1</sup>, LUCIANE PROFS MOUTINHO<sup>1</sup>, NILO S. MATSUDA<sup>2</sup>,  
CRISTIANE PAKULSKI<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> IG/UFRGS, Avenida Bento Gonçalves, 9500, 91509-900. Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>2</sup> Petrobras, Av. República do Chile, 65, 20031-912, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

\*<sup>1</sup> Corresponding Author: [aiatha@yahoo.com.br](mailto:aiatha@yahoo.com.br)

**RESUMENEN**

Se presenta y describe por primera vez el género *Ellisonia* en una cuenca paleozoica brasilera con las especies *Ellisonia latilaminata* y *Ellisonia conflexa*. Las muestras son provenientes de afloramientos del Río Tapajós y de calizas de la Formación Itaituba, Pensilvaniense de la Cuenca de Amazonas. *Ellisonia* proporciona informaciones bioestratigráficas. Por ser un indicador de ambiente marino somero *Ellisonia* así como *Adetognathus* presentan importancia paleoecológica en la determinación de las biofacies.

*Palabras clave:* Conodontes, *Ellisonia*, *Idioprioniodus*, Cuenca de Amazonas, Pensilvaniense, Formación Itaituba.

**ABSTRACT**

This paper records the first occurrence of the *Ellisonia* species in a Brazilian Paleozoic basin. *Ellisonia latilaminata* and *Ellisonia conflexa* are characterized from an outcrop along the Tapajós River, as well as a limestone quarry, both in the Itaituba Formation, (Pennsylvanian), Amazonas Basin. Although rare, *Ellisonia* is biostratigraphically and paleoecologically important. *Ellisonia* like *Adetognathus*, is an indicator of shallow marine environment.

*Key words:* Conodonts, *Ellisonia*, *Idioprioniodus*, Amazonas Basin, Pennsylvanian, Itaituba Formation.

## **INTRODUCTION**

In Brazil, conodonts are found in Paleozoic strata in the Amazonas, Solimões, Parnaíba and Acre basins. However, the main Pennsylvanian marine deposits are those of the Amazonas Basin, represented by the Tapajós Group - Monte Alegre, Itaituba, and Nova Olinda formations of these remarkable for their fossil abundance (Fig. 1).

The first Brazilian study on conodonts was published by Fúlfaro (1965). This taxonomic work reported these microfossils in deposits in the Itaituba Formation, Pennsylvanian age, Amazonas Basin. Since then conodonts have proven relevant for biostratigraphic and paleoecologic studies, as noted by Araújo & Rocha-Campos (1969), Tengan *et al.* (1976), Rocha-Campos & Archangelsky (1986), Lemos & Medeiros (1989), Lemos (1990), Lemos & Medeiros (1996a, b), Neis (1996), Silva & Lemos (1996), Scomazzon (1999), Lemos & Scomazzon (2001), Nascimento *et al.* (2005) and Scomazzon & Lemos (2005).

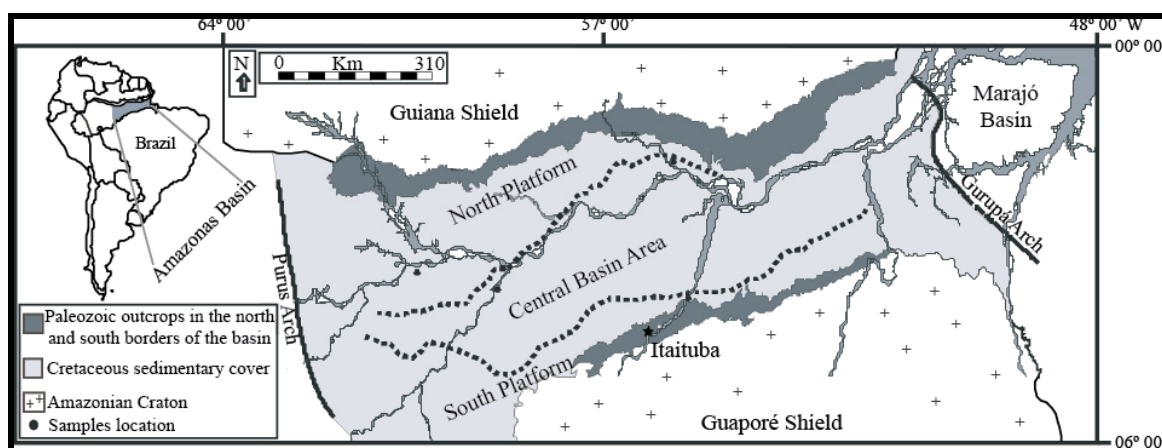
The Itaituba Formation includes the thickest carbonate packages among the Tapajós Group, and the most abundant in conodonts. The conodont genera found there commonly include *Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Neognathodus*, *Adetognathus*, *Hindeodus*, *Diplognathodus*, *Idioprioniodus* and, in recent addition to those, *Ellisonia*. These associations are useful to the biostratigraphy and correlation with North American Pennsylvanian strata, mainly in the Midcontinent Region.

*Ellisonia* was established by Müller (1956) based on bilaterally symmetrical conodont elements from the Early Triassic of the *Meekoceras* Zone, Nevada. Sweet (1970a, b) reconstituted the apparatus of the type species, *E. triassica* and included four types of elements in the apparatus of this species. Pennsylvanian species of *Ellisonia* are internally and externally similar to the neurodont conodonts, a group that was common during the Ordovician (von Bitter & Merrill, 1983). The first representatives of the Pennsylvanian Ellisonidae were interpreted by von Bitter & Merrill (1983) as two species of *Ellisonia* appeared in the Atokan (Pennsylvanian) (Sweet, 1988). The Pennsylvanian *Ellisonidae*, although rare, are of fundamental importance since they represent a lineage which survived the Early Permian crisis (Clark, 1972). The last occurrences of *Ellisonia* date from Late Triassic (Sweet, 1988).

In architecture of their skeletal apparatuses, species of *Ellisonia* are similar to those species of *Idioprioniodus*, from which they almost certainly developed (Sweet, 1988).

Only minor morphologic differences separate the apparatuses of *Ellisonia* species from those of partly contemporaneous species of *Idioprioniodus*. Such features include the tendency for processes of *Ellisonia* elements to be longer and more profusely denticulated than those of *Idioprioniodus* and for the attachment surfaces of *Ellisonia* elements to be composed of small basal pits bordered by prominent zones of recessive basal margin (Sweet, 1988).

Until recently *Ellisonia* had not been found in Brazilian Paleozoic basins. This paper describes its first occurrence in the Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin. The specimens to this study were identified mostly due to the good preservation of the basal portions, which preserve the diagnostic characters.

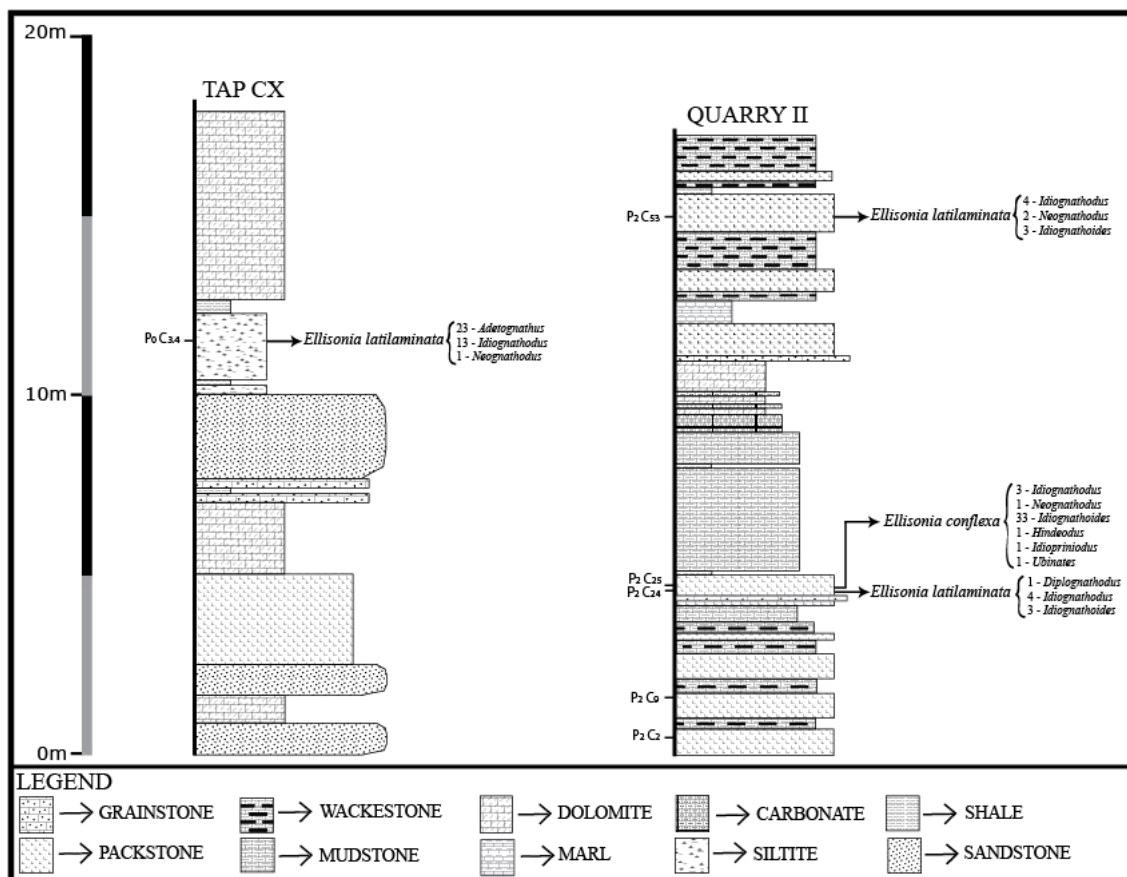


**Figure 1.** Location map of Amazonas Basin. Studied area identified by a star. (Modified from Scmazzon, 2004).

## **MATERIAL AND METHODS**

Twenty kilograms of sedimentary rock samples were processed, about 300g per each sample, consisting mainly of carbonates and shale, by methods of Austin (1987). The collection sites comprehends the one outcrop at the Tapajós River (TAPCX) and a limestone quarry, herein designated Quarry 2, the latter owned by the CAIMA Industry. From sixty-four samples processed (Fig. 2) three *Ellisonia* elements were recovered at Tapajós River (TAPCX 3.4), and three at levels P2C24, P2C25 and

P2C53. The seven analyzed specimens are deposited at the Paleontology and Stratigraphy Department of the Geosciences Institute of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) under repository numbers MP-M-717, MP-M-718, MP-M-719, MP-M-720.



**Figure 2.** Stratigraphic profile of part of the Itaituba Formation, Tapajós region, with plotted conodonts.

### LOCATION

The study area comprises a limestone quarry owned by the Cement Industry CAIMA - located forty kilometers from the city of Itaituba and two outcrops at the Tapajós River (TAPCX), at the southern portion of the basin, State of Para, northern Brazil.

## **GEOLOGY**

The intracratonic Amazonas Basin has an area of 600.000 Km<sup>2</sup>, with sedimentary deposition from Cambrian to Tertiary forming a 6000 m thick sedimentary package. The Carboniferous-Permian sedimentary rocks, approximately 2000 m thick, relate to the marine portion of the Tapajós Group (Pennsylvanian age). This group composed of marine and continental sedimentary deposits accounts for more than half of the basin's total sedimentary package (Caputo, 1984).

## **SYSTEMATIC PALEONTOLOGY**

Order CONODONTOPHORIDA Eichenberg, 1930

Family ELLISONIDAE Clark, 1972

Genus *Ellisonia* Müller, 1956

*Hadrodontina* Staesche, 1964, p. 271.

*Pachycladina* Staesche, 1964, p. 277.

*Stepanovites* Kozur, 1975, p. 22.

**Diagnosis:** genus has skeletal apparatus, consisting in at least two kinds of elements (Sa and Sc). Three other elements can be present (Pb, M and Pa). The morphology of these elements is characteristically of extreme massiveness, presenting spaced denticulate extremely curved, with tendency to basal cavity eversion (particularly in Sc and Sa) in some species and the presence of minute portions of white matter in others.

***Ellisonia conflexa* von Bitter & Merrill, 1983**

Fig. 3 A-C

1933 - *Euprionidina* ? sp. Gunnell: p. 269, pl. 33, fig. 24;

1941 - *Prioniodus conflexus* Ellison: p. 114, pl. 20, fig. 25;

1972 - *Delotaxis* ? *conflexa* von Bitter: p. 72, pl. 12, figs. 1a-c; pl. 14, figs. 1a-c, 2a-b, 4a-b; pl. 16, figs. 1a-d;

1973 - Unassigned B1 element Baesemann: p. 708, pl. 1, fig. 1;



1973 - *Magnilaterella* cf. *M. contraria* Rhodes, Austin & Druce-Baesemann: p. 708, pl. 1, fig. 2;

1980a - *Ellisonia* sp. (p) Merrill: p. 196, 199, 2001, figs. 2-26, 2-27;

1980b - ?*Ellisonia* sp. (M) Merrill: p. 195, pl. 7, figs. 10, 11.

**Diagnosis:** A species of *Ellisonia* having as many as four paired element type (Pb, M, Pa and Sc) and probably an unpaired Sa element in its apparatus. The basal portion of each element is a characteristic brown to amber colour and is transparent. The Pb, M and Pa elements, which may have been present in individual species, possess large characteristic flaring basal cavities. The Sa and Sc elements possess well-defined grooved basal cavities that lack the flare of those of the other three elements types. Individual elements of this species were characterized in detail by Ellison (1941) and von Bitter (1972).

**Description:** Sc element with prominent central cusp and pronounced curve, presenting spaces between cusp and nearest denticle. There are six denticles varying in size, some curved, and others straight, following the curvature of the element. Shallow, elongated, sinuous basal cavity, having a strongly marked groove. The external structure of the element is similar to that of the neurodont conodonts (von Bitter & Merrill, 1983).

**Occurrence:** One Sc element.

**Stratigraphic distribution:** middle Desmoinesian to upper Virgilian of the Appalachians, Illinois Basin, Midcontinent region, and Texas. Atokan in the Itaituba region, Amazonas Basin.

### ***Ellisonia latilaminata* von Bitter & Merrill, 1983**

Fig. 3 D-F

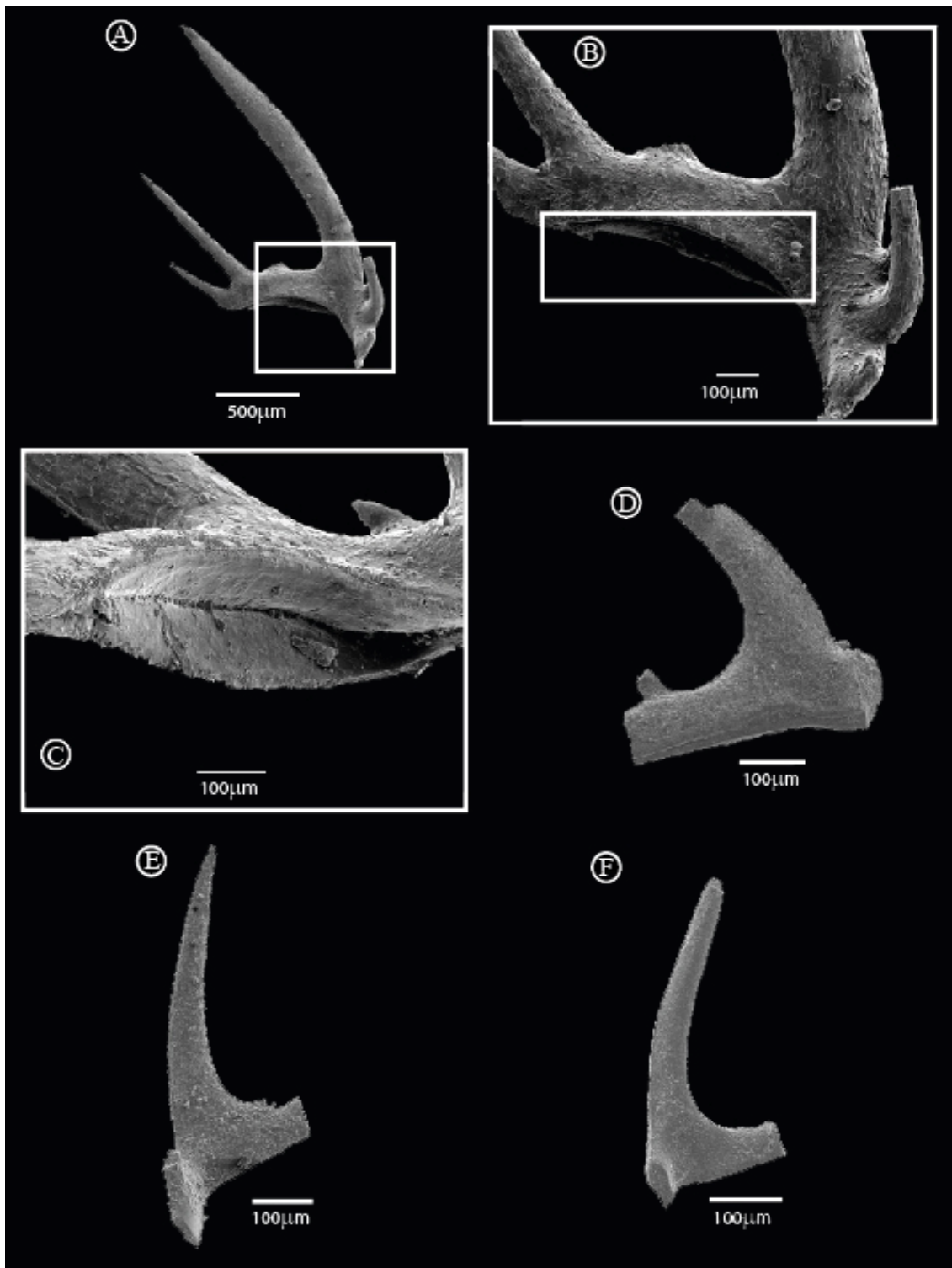
1983 - *Ellisonia latilaminata* von Bitter & Merrill: p. 18, pl. 1, figs. 1-24; pl. 2, figs. 1-21; pl. 10, figs. 1-11.

**Diagnosis:** Two kinds of elements in the apparatus, a pair of Sc and a Sa. Basal cavity partially or totally everted. Large, curved and laterally compressed cusp.

**Description:** Extremely curved central cusp and everted basal cavity. There are remains of a large denticle besides the cuspid. It was not possible to determine whether it is a Sc or Sa, So element, due to its poor state of preservation.

**Occurrence:** Five specimens of unidentified element.

**Stratigraphic distribution:** Morrowan to middle Missourian of the Appalachian, Illinois Basin, Midcontinent region and Texas. Morrowan to Atokan of the Itaituba region, Amazonas Basin.



**Figure 3.** *Ellisonia conflexa* and *Ellisonia latilaminata* from the Itaituba Formation, Amazonas Basin.

**A-C.** MP-M-717 *Ellisonia conflexa* (P2 C25), **A**-lateral view, **B**-basal cavity detail, **C**-basal groove detail; **D-F.** MP-M-718, MP-M-719, MP-M-720 *Ellisonia latilaminata*, **D** (P2 C24), **E** (TAP CX 3.4), **F** (P2C53) -lateral view.

## DISCUSSION

Many *Ellisonia* spp. have eversion of the basal cavity as their main characteristic. *Ellisonia* has elements similar to those of *Idioprioniodus*, making it difficult to reconstruct both apparatus, which leads to mistakes in classification. However *Ellisonia* differs from *Idioprioniodus* in the strength of its processes, the larger spaces between denticula and specific details in the basal cavity, since the *Idioprioniodus* basal cavity is never everted.

The two species of *Ellisonia* herein described (Fig. 3), *Ellisonia conflexa* and *Ellisonia latilaminata* were classified by considering their external morphology, the shape of their basal cavity and existing processes. *Ellisonia conflexa* (Fig. 3 A-C) retains most of its processes and denticula, besides presenting a well preserved basal cavity, relatively shallow and non-everted. *Ellisonia latilaminata*. (Figs. 3D, E and F) does not present well preserved processes or denticules, having however everted portions of its basal cavity, which were helpful to its classification.

In the analyzed material, *Ellisonia* differs from *Idioprioniodus* in the wider spaces between denticles of *Ellisonia conflexa* (Fig. 3A) as well as some details observed in the basal cavity of *Ellisonia latilaminata*. In *Idioprioniodus* the basal cavity is never everted (Figs. 3 D-H) and it is shaped like an undulated rim.

The *Ellisonia* specimens herein studied were collected along with other conodonts, *Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Neognathodus*, *Adetognathus*, *Hindeodus*, *Diplognathodus*, *Idioprioniodus*, *Ubinates* and *Gondolella* from Morrowan/Atokan age sections, confirming its placement among the previously described Pennsylvanian *Ellisonia* species according to von Bitter (1972).

In North American *Ellisonia* spp. are most common in shallow-water biofacies, von Bitter & Merrill (1976) provided two contrasting depositional hypotheses (one shallow, the other deep) for *Idioprioniodus*. Thus, in Illinois, Merrill interpreted *Idioprioniodus* (and *Gondolella*) to be shallow water, whereas von Bitter working further west in Kansas interpreted them to be deep(er) water. In the Ames Member (Conemaugh Group, Virgilian) in the Huntington area of West Virginia, the greatest number of species of *Ellisonia* occur in the a complex of barrier-lagoon-tidal-flat environments (Merrill, 1973b). For a more recent consideration of Pennsylvanian conodont palaeoecology see Joachimski *et al.* (2006).

Level	Lithology	<i>Ellisonia</i>	Conodonts
TAP CX 3.4	Shale	<i>Ellisonia latilaminata</i> (3)	<i>Adetognathus</i> (23) <i>Idiognathodus</i> (13) <i>Neognathodus</i> (1) <i>Hindeodus</i> (2)
P2C24	bioclastic packstone	<i>Ellisonia latilaminata</i> (1)	<i>Idiognathodus</i> (4) <i>Idiognathoides</i> (3) <i>Diplognathodus</i> (1)
P2C25	bioclastic packstone	<i>Ellisonia conflexa</i> (1)	<i>Idiognathodus</i> (3) <i>Idiognathoides</i> (33) <i>Hindeodus</i> (1) <i>Idioproniodus</i> (1) <i>Ubinates advena</i> (1)
P2C53	bioclastic packstone	<i>Ellisonia latilaminata</i> (1)	<i>Idiognathodus</i> (4) <i>Idiognathoides</i> (3) <i>Neognathodus</i> (2)

**Table 1.** Conodont distribution on outcrops studied.

## CONCLUSION

This paper presents the first occurrence of *Ellisonia* in the Amazonas Basin. Its occurrence in that basin is important to the correlation with strata from other locations, especially with those of the North American Midcontinent.

*Ellisonia conflexa* have an external structure and it's well preserved processes and denticles were essential to its classification. The totally everted basal cavity of *Ellisonia latilaminata* was the main characteristic used in its systematic classification.

One of the difficulties in the study of *Ellisonia* concerns its scarcity in the Pennsylvanian, despite being of great importance as a surviving lineage from the Permian crisis and originator of Triassic *Ellisonidae*. Seven specimens were found in the Brazilian Paleozoic Basin.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

We wish to thank CAIMA Industry of Cement for granting us access to the sites where the material was collected. We are also grateful to the Editor and staff of this magazine for their valuable suggestions. This research was funded by CNPq. – Edital Universal 01/2002 – Grant 472153/2003-0).

## **REFERENCES**

- Araújo, J. S.; Rocha-Campos, A. C. 1969. Conodonts from the Itaituba Formation (Pennsylvanian) at well PEST-2-AM Amazonas Basin. *Ciência e Cultura*, 21(2), 221-228.
- Austin, R. L. 1987. (Editor) Conodonts: Investigative techniques and applications. *British Micropaleontological Society Series*, Ellis Horwood, 562pp.
- Caputo, M. V. 1984. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. Unpublished. Ph.D. Thesis- University of California, 856pp.
- Clark, D. L. 1972. Early Permian crisis and its bearing on Permo-Triassic conodont taxonomy. *Geol. Palaeontol. Spec. Publication*, 1, 147-148.
- Cunha, P. R. C.; Gonzaga, F. G.; Coutinho, L. F. C.; Feijó, F. J. 1994. Bacia do Amazonas: *Boletim de Geociências da PETROBRAS*. 8(1): 47-55.
- Fúlfaro, V. J. 1965. Conodontes do Calcário Itaituba do Carbonífero do Rio Tapajós, Estado do Pará. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, 14(1-2): 29-40.
- Jeppsson, L. 1971. Element arrangement in conodonts apparatuses of *Hindeodella* type and in similar forms. *Lethaia*, 4: 101-123.
- Joachimski, M. M.; von Bitter; Buggisch, W. 2006. Constraints on Pennsylvanian glacioeustatic sea-level changes using oxygen isotopes of conodont apatite. *Geology* 34(4): 277-280.
- Kozur, H. 1975. Beiträge zur Conodontenfauna des Perm. *Geologisch-Paläontologische Mitteilungen*, 5(4): 1-44.

- Lemos, V. B.; Medeiros, R. A. 1996a. O Limite Morrowano/Atokano na Bacia do Amazonas, Brasil, com Base em Conodontes. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 10(1-4): 165-173.
- Lemos, V. B.; Medeiros, R. A. 1996b. Conodontes do Carbonífero Inferior da Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 10(1-4): 55-60.
- Lemos, V. B.; Scmazzon, A. K. 2001. The Carboniferous biochronostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil based on conodonts. *In: Workshop Correlação de Sequências Paleozóicas Sul-Americanas*. Melo, J. H. G. & Terra, G. S. T. (eds.). *Ciência Técnica Petróleo*. Seção: Exploração de Petróleo, 20: 131-138.
- Merrill, G. K. 1973. Pennsylvanian Nonplatform Conodont Genera, I: *Spathognathodus*. *Journal of Paleontology*, 47(2): 289-314.
- Merrill, G. K. 1980. Conodonts from the Livingston and Shoal Creek Limestones, Vermilion County, Illinois In: Langenheim, R. L., Jr. & John Mann (eds.), Middle and Late Pennsylvanian strata on margin of Illinois basin, Vermilion County, Illinois, Vermillion and Parke counties, Indiana. Tenth Annual Field Conference, Great Lakes Section, *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, September 1982, 191-203.
- Merrill, G. K.; von Bitter, P. H. 1976. Revision of conodont biofacies nomenclature and interpretations of environmental controls in Pennsylvanian rocks of eastern and central North America. Royal Ontario Museum, *Life Sciences Contributions*, 108: 1-46.
- Muller, K. J. 1956. Triassic conodonts from Nevada. *Journal of Paleontology*, 30: 818-830.
- Nascimento, S.; Scmazzon, 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*, 8(3): 193-202.
- Neis, P. A. 1996. Resultados Biocronoestratigráficos das Associações de Conodontes da Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 138p.
- Perlmutter, B. 1975. Conodont from the uupermost Wabaunsee Group (Pennsylvanian) and the Admire and Council Grove Groups (Permian) in Kansas. *Geologica et Palaeontologica*, 9: 95-109.

- Robison, R. A. 1981. Treatise on Invertebrate Paleontology. Lawrence, *Geological Society of America*. Part W, supplement 2, Conodonta.
- Rocha-Campos, A. C.; Archangelsky, S. 1986. South America. In: Wagner, R. H.; Prins, W.; Granatos, J. F. (eds.), *The Carboniferous of the World II, Australia, Indian Subcontinent, South Africa, South America & North Africa. IUGS Publication*, Instituto Geológico y Marino de España, Madrid, 20: 175-272.
- Scomazzon, A. K. 1999. *Refinamento bioestratigráfico com base em conodontes, no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas - Região do Tapajós*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 142pp.
- Scomazzon, A. K.; Lemos, V. B. 2005. *Diplognathodus* occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 8(3): 203-208.
- 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, 199-202.
- Staesche, U. 1964. Conodonten aus dem Skyth von Sudtirol. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 119: 247-306.
- Sweet, W. C. 1970a. Permian and Triassic conodonts from a section at Guryul Ravine, Vihri District, Kashmir. *University of Kansas Paleontological Contributions* 49: 1-10.
- Sweet, W. C. 1970b. Uppermost Permian and Lower Triassic conodonts of the Salt Range and Trans-Indus ranges, West Pakistan. University of Kansas, Department of Geology, Special Publication 4: 207-275.
- Sweet, W.C. 1988. *The Conodonta, Morphology, Taxonomy, Palaeoecology and Evolutionary History of a Long-Extinct Animal Phylum*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, 10: 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, 365pp.
- von Bitter, P. H.; Merrill, G. K. 1983. Late Palaeozoic species of *Ellisonia* (Conodontophorida), Royal Ontario Museum. *Life Sciences Contributions*, 136, 1-57.



von Bitter, P. H.; Merrill, G. K. 1985. *Hindeodus*, *Diplognathodus*, and *Ellisonia* revisited - an identity crisis in Permian conodonts. *Geologica et Palaeontologica*, 19: 81-96.

*CAPÍTULO 5*

CONODONT BIOSTRATIGRAPHY AND PALEOECOLOGY OF A LOWER  
PENNSYLVANIAN MARINE CALCAREOUS PROFILE - ITAITUBA FORMATION,  
SOUTHERN REGION OF AMAZONAS BASIN

SARA NASCIMENTO\*<sup>1</sup>, ANA KARINA SCOMAZZON<sup>1</sup>, VALESKA BRASIL LEMOS<sup>1</sup>,  
LUCIANE PROFS MOUTINHO<sup>2</sup>, NILO SIGUEHIKO MATSUDA<sup>2</sup>

1 – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91509-970, Porto Alegre, RS

2 – PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro S.A., Av. República do Chile, 65, CEP 20031-912, Rio de Janeiro, RJ

\*<sup>1</sup> Corresponding Author: [aiatha@yahoo.com.br](mailto:aiatha@yahoo.com.br)

---

**ABSTRACT**

This study reports on the conodonts from an outcrop region in the south of Amazonas Basin that comprises the lower part of the Itaituba Formation. The studied area consists of three limestone quarries, informally named 1, 2 and 3 owned during collecting time by CAIMA and nowadays by ITACIMPASA - a cement industry, and two outcrops (TAPTV and TAPCX) along the Tapajós River. The conodont association includes elements of *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus bothrops*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*, *Rhachistognathus muricatus*, *Idioprioniodus* sp., *Ellisonia latilaminata*, *E. conflexa*, *Ubinates advena*. and *Gondolella* sp. The herein proposed biozones comprise two taxon range zones: *Rhachistognathus muricatus* and *Diplognathodus orphanus*; and one assemblage zone: *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultimus*. Conodonts occur mainly in the packstones, and subordinately in the wackestones and mudstones. The Itaituba Formation is the richest interval containing organisms of shallow marine environment in the Pennsylvanian of Amazonas Basin. The associated fauna includes brachiopods, crinoids, echinoids, bryozoans, corals, gastropods, foraminifers, sponges, ostracods, trilobites, scolecodonts, bivalves and fish remains. Conodonts *Neognathodus atokaensis*, *Diplognathodus orphanus* and *Idiognathodus incurvus*, characterizes a predominant Atokan age to the studied profile. The occurrence of *Rhachistognathus muricatus*, of Morrowan age, in the lower portion of the profile and the presence of Atokan species along the section, helps to establish the Morrowan / Atokan boundary to the analyzed profile.

**Key words:** Pennsylvanian conodonts, Itaituba Formation, Amazonas Basin.

## **INTRODUCTION**

Studies in conodonts were previously published in Brazil by Fúlfaro (1965). The paper, of taxonomic content, presents the first record of conodonts in the Carboniferous deposits of Itaituba Formation of Amazonas Basin. Since then, conodonts recovered in this Paleozoic intracratonic basin have been useful to biostratigraphy and paleoecology information, available in Araújo & Rocha-Campos (1969), Tengan *et al.* (1976), Rocha-Campos & Archangelsky (1986), Lemos & Medeiros (1989), Lemos (1990), Lemos (1992a,b), Lemos & Medeiros (1996a, b), Silva & Lemos (1996), Neis (1996), Scomazzon (1999), Lemos & Scomazzon (2001), Scomazzon (2004), Nascimento *et al.* (2005) and Scomazzon & Lemos (2005).

The Amazonas Basin is the most studied of the Brazilian Paleozoic basins in terms of conodonts, especially the marine carbonates of Itaituba Formation from Tapajós Group, of Pennsylvanian age. These carbonatic rocks have had the greatest focus, mainly due to environmental conditions favorable to conodonts occurrence and preservation.

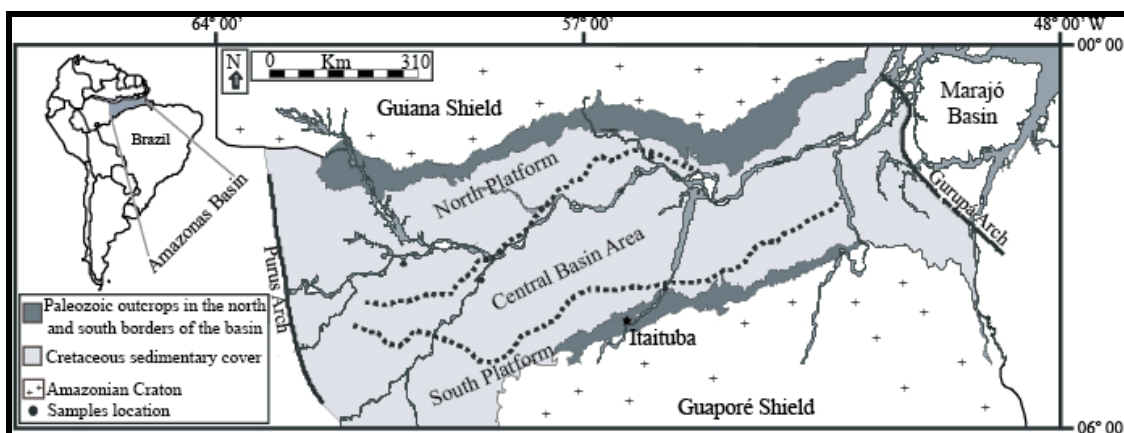
The conodont association of Itaituba Formation includes mainly Pa elements of *Idiognathodus*, *Neognathodus*, *Idiognathoides*, *Adetognathus*, *Diplognathodus*, *Hindeodus* and rare S elements of *Ellisonia*, Sa elements of *Ubinates* and M elements of *Idioproniodus* and *Gondolella*.

This work aims to discuss the conodont biozones and paleoenvironmental data obtained from three calcareous quarries (1, 2 and 3) and two outcrops (TAPTV and TAPCX) along the Tapajós River, of the Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin. The studied conodonts are characteristic of the early Pennsylvanian, Morrowan and Atokan stages and have been used to improve biostratigraphy of the Carboniferous of the Amazonas Basin, with the establishment of two taxon-range zones and one assemblage zone.

## GEOLOGIC SETTING

The Amazonas Basin (Fig. 1) is a large intracratonic sedimentary basin occupying 600,000 km<sup>2</sup> within the northern Brazilian States of Amazonas and Pará. Its strata cover the Precambrian provinces of the Guianas Shield to the north and the Guaporé Shield to the south. To the east, it is separated from the Marajó Basin by the Gurupá Arch. To the west, it is separated from Solimões Basin by a subsurface basement-high, the N-S trending Purus Arch. In its depocenter, the basin preserves a stratigraphic record up to 5,000 m thick deposited from Proterozoic through Tertiary time. The Carboniferous-Permian strata accounts for more than half of the total thickness (Milani & Zalán, 1998).

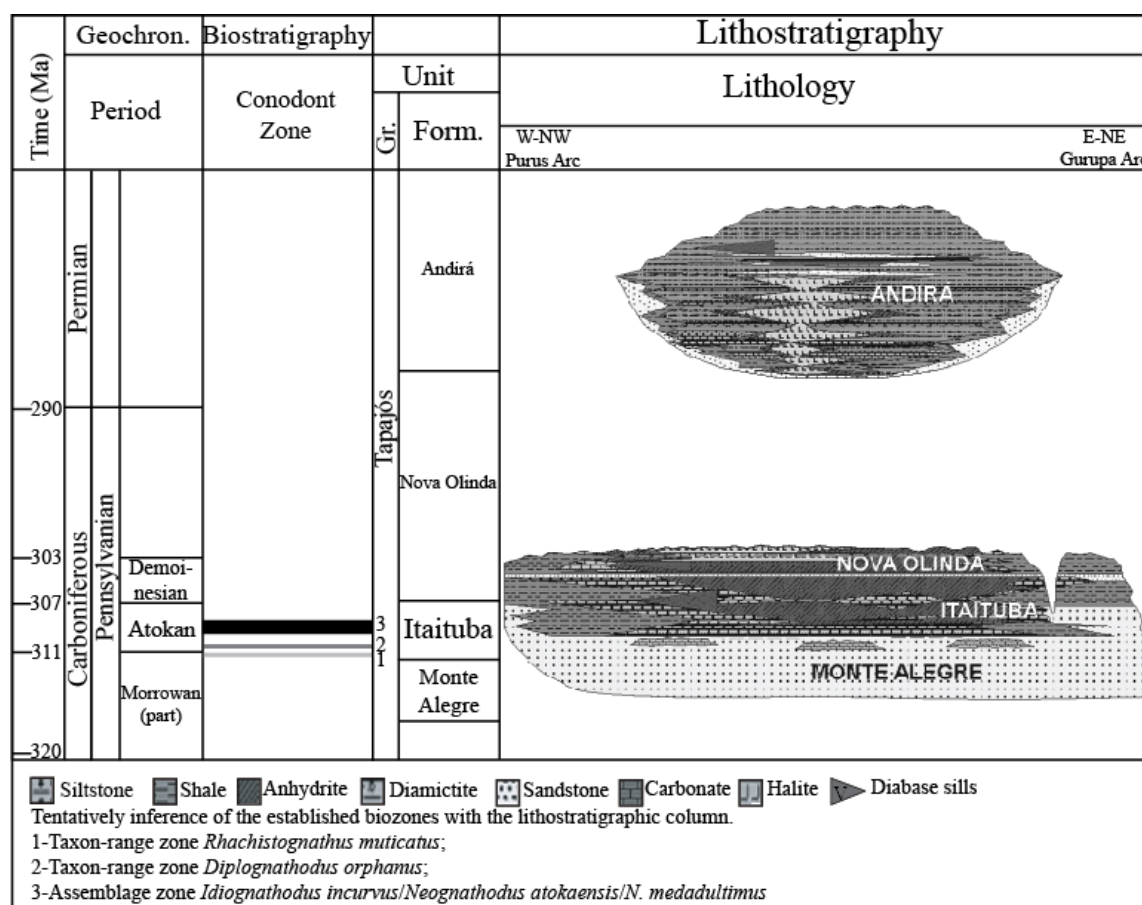
In structural and depositional terms, the Amazonas Basin is divisible into three distinct sectors, a northern platform, a southern platform, and a deep central basin area. This trend generally east-west evolved geologically for 500 Ma. Along both the northern and southern boundaries of the basin take place outcrops of Paleozoic rocks.



**Figure 1.** Location map of Amazonas Basin. Studied area identified by a star. (modified from Scmazzon, 2004).

The stratigraphic framework of the Amazonas Basin includes three Paleozoic units covered by Cretaceous to Recent continental clastics (Cunha *et al.*, 1994): the Ordovician – Devonian Unit, Devonian – Mississippian Unit, and Pennsylvanian – Permian Unit (Fig. 2). The latter unit accumulated following intense erosion caused by the early Hercynian Orogenic episode. It represents a transgressive to regressive cycle from the Pennsylvanian through the Permian time associated with significant climatic changes from

cold to warm and arid (Scotese & Mckerrow, 1990). This cycle corresponds to the rocks of the Tapajós Group, which consists of four formations, in ascending order the Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda and Andirá formations (Cunha *et al.*, 1994).



**Figure 2.** Chronostratigraphic chart of the Tapajós Group based on the latest data by Playford & Dino (2000). (modified from Matsuda, 2003).

The Itaituba Formation overlies the Monte Alegre Formation. The latter is considered to be late Morrowan-Atokan based on conodonts and palynomorphs. The Itaituba varies from 110 m thick in the southern outcrop area to 420 m thick in the central part of the basin. The dominant lithologies include mainly intercalated carbonates and evaporates, and secondarily, clastics. A diverse marine fauna with U.S. Midcontinent affinities characterizes the carbonate units, and are the richest known from the Amazonas Basin. Groups represented include foraminifers, corals, bryozoans, crinoids, trilobites, ostracods, gastropods, bivalves, brachiopods, scolecodonts, fish remains and conodonts.

Shale and siltstone beds often contain crustaceans and plants indicative of episodic freshwater deposition and are interpreted as shallow marine subtidal to supratidal deposits. The Itaituba Formation is overlaid conformably by the Nova Olinda Formation of Atokan-early Desmoinesian age according to conodont data.

Age estimations of the Itaituba Formation have been based on microfossil assemblages, including spores and pollen (Playford & Dino, 2000), fusulinids (Altiner & Savini, 1995), and conodonts (Lemos, 1992a, b; Lemos & Scomazzon, 2001; Scomazzon & Lemos, 2005; Nascimento *et al.*, 2005), but they are controversial.

## MATERIALS AND METHODS

Forty kg of sedimentary rocks mainly carbonates and subordinate shale, were collected and 300 g of each sample were processed for the study of conodontes. From the 130 analyzed levels, considering the whole section from Tapajós River through the quarries, 951 conodonts were recovered from 61 levels, according to table 1.

QUARRY 3	LITHOLOGY																		
		<i>Adetognathus lautus</i>	<i>Idiognathodus incurvus</i>	<i>Idiognathoides sinuatus</i>	<i>Neognathodus bothrops</i>	<i>Neognathodus bassleri</i>	<i>Neognathodus medadulitimus</i>	<i>Neognathodus atokaensis</i>	<i>Neognathodus roundyi</i>	<i>Hindeodus minutus</i>	<i>Idioproniodus</i> sp. (M elements)	<i>Diplognathodus coloradoensis</i>	<i>Diplognathodus orphanus</i>	<i>Diplognathodus ellesmerensis</i>	<i>Ellisonia conflexa</i> (S element)	<i>Ellisonia latilaminata</i> (S element)	<i>Ubinates</i> sp. (Sa element)	<i>Gondolella</i> sp. (M elements)	<i>Rhachistognathus muricatus</i>
C21	sandstone	2																	
C20	gypsite mudstone																		
C19	foraminiferous grainstone	2	1																
C18	muddy dolostone	3	1																
C16	echinoderm wackestone		15	5					2		1	12	3						







TAPT	LITHOLOGY	<i>Adetognathus lautus</i>	<i>Idiognathodus incurvus</i>	<i>Idiognathoides sinuatus</i>	<i>Neognathodus bothrops</i>	<i>Neognathodus bassleri</i>	<i>Neognathodus medadulitimus</i>	<i>Neognathodus atokaensis</i>	<i>Neognathodus roundyi</i>	<i>Hindeodus minutus</i>	<i>Idiopriodontus</i> sp.	<i>Diplognathodus coloradoensis</i>	<i>Diplognathodus orphanus</i>	<i>Diplognathodus ellesmerensis</i>	<i>Ellisonia conflexa</i>	<i>Ellisonia latilaminata</i>	<i>Ubinates</i> sp.	<i>Gondolella</i> sp.	<i>Rhachistognathus muricatus</i>
TV1 2	dolomicrite	1	7																
TV1 1	wackstone		5																
TV9	grainstone	14	40				1												
TV8	calciferous shale	9	59		1	1	8	3											
TV7	grainstone	6	40		1		1	1	1										
TV4	sandstone	1														1			3

**Table 1.** Conodont distribution on outcrops studied. Other than Pa elements are informed in the table.

The laboratories techniques followed the methodology of Austin (1987) and were applied in the laboratory of microfossil preparation at the Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil. The collection is deposited in the Department of Paleontology and Stratigraphy of the Geosciences Institute under catalogue numbers MP-M-717, MP-M-718, MP-M-721, MP-M-722, MP-M-725 to MP-M-727, MP-M-729, and MP-M-731 to MP-M-745.

### **CONODONT BIOSTRATIGRAPHIC ANALYSIS**

Conodont biostratigraphy in the marine deposits of Tapajós Group, Pennsylvanian of Amazonas Basin, based on multielement taxonomy was first undertaken by Lemos (1990), followed by Neis (1996), Scmazzon (1999), Lemos & Scmazzon (2001), Scmazzon (2004) and Nascimento *et al.* (2005). The established biozones have helped to recognize the late Morrowan, Atokan and early Desmoinesian in Amazonas Basin, as briefly discussed below, and in some analyzed localities, correlate to North American Midcontinent stage.

Lemos (1990) studying eighteen wells from diverse localities of north, south and central area of the Amazonas Basin, described three assemblage zones: i) *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathus muricatus*; ii) *Diplognathodus orphanus/Diplognathodus coloradoensis*; iii) *Streptognathodus elongatus/Idiognathodus ellisoni*. The first zone contains *Rhachistognathus muricatus* and *Neognathodus symmetricus* which are characteristic of early Morrowan age. These species occur in the Monte Alegre Formation and lower part of the Itaituba Formation. The second zone contains *D. orphanus*, which is typical of the Atokan, and *Diplognathodus coloradoensis*, typical of the early Desmoinesian, and was recovered from the middle part of the Itaituba Formation. The third zone is characterized by *Streptognathodus elongatus* and *Idiognathodus ellisoni*, which were interpreted to be of Middle-Late Pennsylvanian age, recovered from the Nova Olinda Formation.

Neis (1996) studying four wells from north and south area of the Amazonas Basin, suggested two assemblage zones: i) *Idiognathoides ouachitensis/Rhachistognathus muricatus*; ii) *Diplognathodus* spp. The first zone typical of Morrowan age occurs from Monte Alegre to lower Itaituba Formation. The second zone, with *Diplognathodus* spp. proposes an Atokan age and occurs within the Itaituba Formation. The conodont associations studied by Neis (1996) characterize a late Morrowan to middle Atokan age for the analyzed interval.

Scomazzon (1999) studied the uppermost part of Monte Alegre Formation and lower Itaituba Formation in outcrops of south platform area, designated three local interval zones: i) *Idiognathodus sinuosus/Rhachistognathus muricatus* - late Morrowan, comprising the uppermost part of Monte Alegre Formation and the lower part of the Itaituba Formation; ii) *Idiognathodus klapperi/Streptognathodus parvus* - late Morrowan-Atokan, corresponding to the Itaituba Formation; iii) *Idiognathodus claviformis/Idiognathodus incurvus* - early Desmoinesian age to the uppermost part of Itaituba Formation.

Lemos & Scomazzon (2001) redesigned the third zone of Lemos (1990), formerly the *Streptognathodus elongatus/Idiognathodus ellisoni* zone, as the *Idiognathodus claviformis/Idiognathodus incurvus* zone. This biozone occurs near the base of the Nova Olinda Formation estimating an early Desmoinesian age to the analyzed interval.

Scomazzon (2004) studying eighteen wells, performing a profile from north through south area and the outcrop region of south platform area of the Amazonas Basin, established one taxon-range zone of *Idiognathodus incurvus* to the Itaituba Formation and lower part of Nova Olinda Formation and a subzone of *Diplognathodus coloradoensis* to the Itaituba Formation, suggesting middle Atokan – early Desmoinesian age to the analyzed section.

Nascimento *et al.* (2005) studying the outcropped section, related to the quarries 1 and 2 herein studied, in the south region of the Itaituba Formation, proposed one taxon-range zone and one subzone, respectively: *Idiognathoides sinuatus* zone and *Neognathodus roundyi* subzone. i) *Idiognathoides sinuatus* zone extends from the lower part of quarry 1 to the upper part of quarry 2, and is recognized by the occurrence of the former species. i) *Neognathodus roundyi* subzone is recognized by the local occurrence of this species in the basal portion of quarry 2. The proposed zone and subzone helps to estimate an Atokan age to the analyzed profile.

It is herein proposed (Fig. 3) two taxon-range zones: *Rhachistognathus muricatus* and *Diplognathodus orphanus*, and one assemblage zone: *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultimus*.

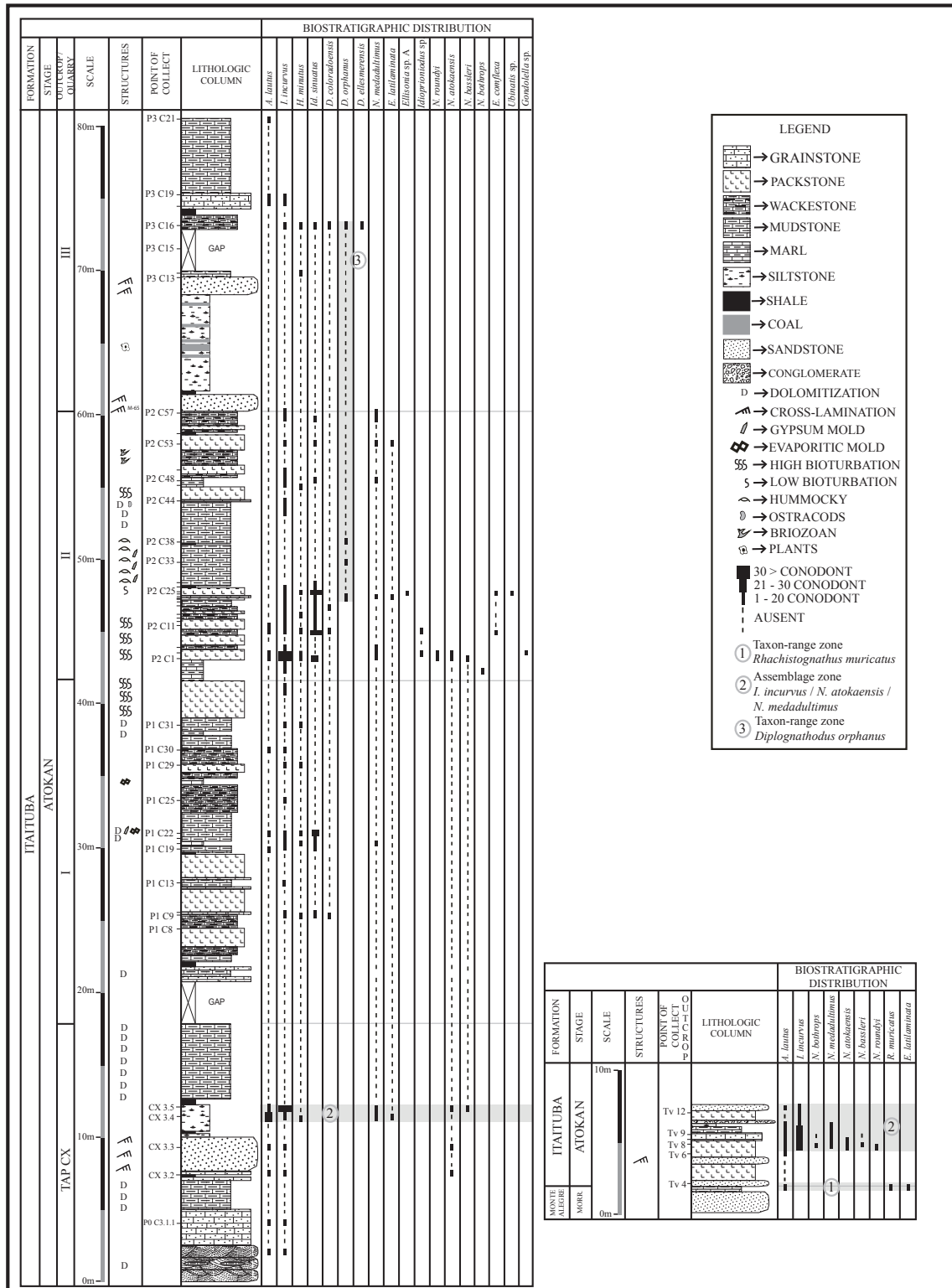
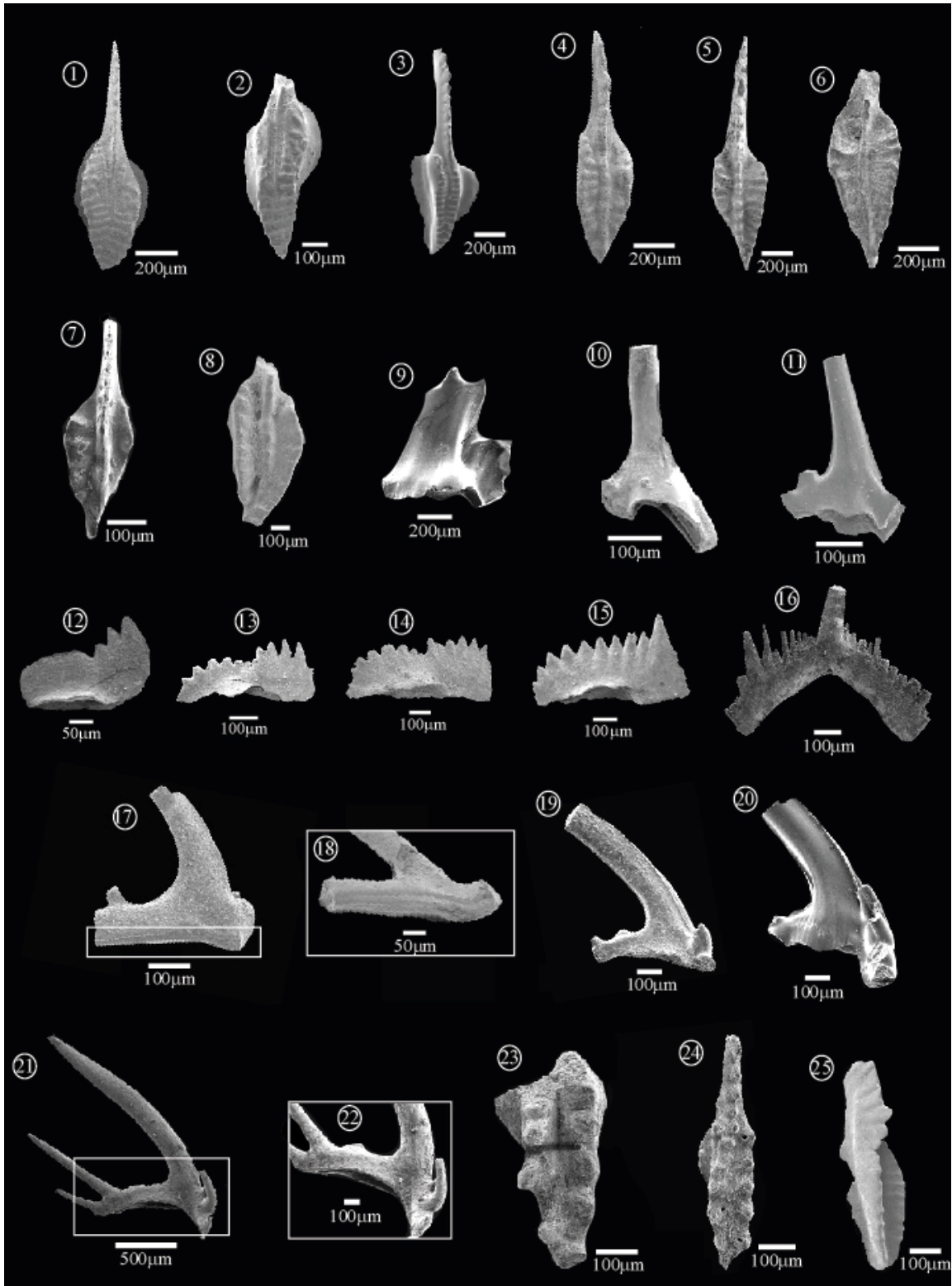


Figure 3. Stratigraphic profile of part of the Itaituba Formation, Tapajós Region, with plotted conodonts.

The taxon-range zone *Rhachistognathus muricatus* comprehends the strata of the basal portion of the section (TAPTV) marked by the occurrence of *Rhachistognathus muricatus* of Morrowan age. Lithostratigraphically include the boundary between Monte Alegre and Itaituba formations. *Adetognathus lautus* and *Ellisonia latilaminata* occurs as associated conodont. This biozone can be traced with the *Idiognathoides ouachitensis/Rhachistognathus muricatus* of Neis (1996) and *Idiognathodus sinuosus/Rhachistognathus muricatus* zone of Scomazzon (1999) helping to correlate the upper Morrowan stage in the Pennsylvanian strata of Amazonas Basin.

The taxon-range zone *Diplognathodus orphanus* comprise the strata from the lower part of quarry 2 (P2C19) through middle-upper part of quarry 3 (P3C16), lithostratigraphically related to the Itaituba Formation. The level P3C16 is the most abundant in *D. orphanus* species, which is considered a good index for the Atokan age. The associated conodonts include *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus ellesmerensis*, *D. coloradoensis*, *Neognathodus medadultimus*, *Ellisonia .conflexa*, *E. latilaminata* and *Ubinates advena*. This biozone can be correlated with the *Diplognathodus* spp. zone of Neis (1996) and corroborate with the Atokan *Diplognathodus orphanus* and *D. ellesmerensis* occurrences found in Scomazzon & Lemos (2005), both in different studied wells in north, south and central area of Amazonas Basin.

The assemblage zone *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultimus* comprise the middle portion of TAPCX and TAPTV, along the Tapajós River (TAPTV7 though TAPTV12 and TAPCX 3.2 though TAPCX 3.5). In lithostratigraphic terms correspond to the Itaituba Formation, of Atokan age based in the conodont association. Conodonts included *Adetognathus lautus*, *Neognathodus bothrops*, *N. bassleri*, *N. roundyi*, *Ellisonia latilaminata* and *Hindeodus minutus*.



**Figure 4.** Conodonts from the Itaituba Formation, Amazonas Basin (oral view). Pa elements: 1 – 8, 12 – 15, 23 – 25; M elements: 9 – 11, 19, 20; S elements: 16, 17, 18, 21, 22.



**1.** MP-M-731 *Idiognathodus incurvus* (TAPCX3.4); **2.** MP-M-732 *Idiognathodus incurvus* (P2C1); **3.** MP-M-733 *Idiognathoides sinuatus* (P1C22); **4.** MP-M-734 *Neognathodus bothrops* (TAPCX3.5); **5.** MP-M-735 *Neognathodus medadultimus* (P2C2); **6.** MP-M-736 *Neognathodus bassleri* (P2C1); **7.** MP-M-737 *Neognathodus roundyi* (TAPTV8); **8.** MP-M-744 *Neognathodus atokaensis* (TAPCX3.2); **9.** MP-M-727 *Idioproniodus* sp. (P2C9); **10.** MP-M-725 *Gondolella* sp. (P2C2); **11.** MP-M-729 *Gondolella* sp. (P2C9); **12.** MP-M-738 *Diplognathodus coloradoensis* (P2C17); **13.** MP-M-739 *Diplognathodus ellesmerensis* (P3C16); **14.** MP-M-740 *Diplognathodus orphanus* (P3C16); **15.** MP-M-745 *Hindeodus minutus* (P2C25); **16.** MP-M-726 *Ubinates advena* (P2C25); **17.** MP-M-718 *Ellisonia latilaminata* (P2C24) basal cavity; **18.** MP-M-718 *Ellisonia latilaminata* (P2C24) detail of the basal cavity; **19.** MP-M-721 *Idioproniodus* sp. (P2C25); **20.** MP-M-722 *Idioproniodus* sp. (P2C9); **21.** MP-M-717 *Ellisonia conflexa* (P2C25); **22.** MP-M-717 *Ellisonia conflexa* (P2C25) detail of the basal cavity; **23.** MP-M-741 *Rhachistognathus muricatus* (TAPTV4); **24.** MP-M-742 *Rhachistognathus muricatus* (TAPTV4); **25.** MP-M-743 *Adetognathus lautus* (TAPCX3.3).

Briefly commenting the literature about the potentially biostratigraphic conodonts (Fig. 4) herein studied, Sweet (1988) consider *Rhachistognathus muricatus* distinctive and useful to establish the Morrowan age. Grayson *et al.* (1989) and Grayson (1990) qualify *Idiognathodus incurvus* as an index to middle Atokan of Midcontinent region of North America. Ekmekciü & Kozur (1999) using the North American and Russian Chronostratigraphic Column, propose the occurrence of *Idiognathodus incurvus* in the Kongul Formation – Turkey, typical of middle Atokan / middle-late Moskovian. *Neognathodus atokaensis* is also characteristic of Atokan age, with an *Atokaensis* zone attributed to middle Atokan stage to the Midcontinent region by Lambert *et al.* (2001). In addition, Rexroad *et al.* (1998, 2001) discuss the *Neognathodus* stock; suggesting *N. atokaensis* as typical of Atokan stage to the Illinois Basin and *N. medadultimus* and *N. roundyi* mainly characteristic of Desmoinesian stage, although also occurring in the Atokan stage, as also previously regarded by Manger & Sutherland (1984) working in the limit of Morrowan – Atokan of Texas. *Neognathodus* genus becomes extinct in the passage of Desmoinesian – Missourian being remarkably important in this limit determination. *Diplognathodus* genus was used by Lane (1977) to determine the limit Morrowan – Atokan, occurring since early Atokan. Bender (1980) and Manger & Sutherland (1984) identified the lower Atokan limit in different regions of North America by the first occurrence of *Diplognathodus orphanus*. Later, von Bitter & Merrill (1990) studying the *Diplognathodus* stock recognized the presence of *D. coloradoensis* since Morrowan

through Desmoinesian strata and, *D. orphanus* and *D. ellesmerensis* characteristic of Atokan strata.

Thus, the occurrence of the index species *Rhachistognathus muricatus* in the level TAPTV4 corroborates a Morrowan age to this stratum related to the lower part of the analyzed section. The presence of the index species *Idiognathodus incurvus*, *Neognathodus atokaensis* and *N. medadulimus* in the levels TAPTV7 and TAPCX3.2 helps to recognize and Atokan age to these strata. In addition, the occurrence of *Neognathodus atokaensis* until the level P2C1, *Diplognathodus orphanus* until the level P3C16 and *Idiognathodus incurvus* until the level P3C19, confirm an Atokan age to the upward section.

### ***PALEOENVIRONMENTAL ANALYSIS***

The two outcrops along the Tapajós River (TAPCX and TAPTV) are predominantly compound by sandstones and shales. The quarries 1 and 2 are mainly composed of interbedded fossiliferous carbonates, subordinate shales and nodular anhydrite. The quarry 3 mainly comprises carbonate and siliciclastic rocks (Fig. 3).

*Idiognathodus*, *Adetognathus*, *Neognathodus* were the most abundant genus found in levels TAPTV and TAPCX, paying attention to the main occurrence of *Adetognathus lautus* in these two outcrops especially in the level TAPCX3.4. Also is important to register the presence of *Ellisonia* in TAPTV4 and TAPCX3.4 and *Hindeodus* in TAPCX3.4 occurring in the same biofacies of *Adetognathus*, in shallow waters, low salinity and high energy. The latter is absent in TAPTV. *Rhachistognathus* were only recovered in TAPTV4. *Idiognathoides* and *Diplognathodus* were found in neither level of the TAPTV and TAPCX outcrops. The presence of *Adetognathus*, associated with the occurrence of *Ellisonia* and *Hindeodus* suggests a nearshore environment, with high energy and low salinity. Also, the abundance of *Idiognathodus* and the occurrence of *Neognathodus* genera indicate shallow marine waters to this region.

Conodonts occur in fewer proportions in quarry 1, especially *Idiognathodus*. *Idiognathoides* genus appears for the first time in the lower portion of this quarry.

*Hindeodus*, *Neognathodus*, *Adetognathus* also have poverty occurrence in these deposits considered of shallow waters with high salinity.

*Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Neognathodus* are most abundant in the lower levels of quarry 2. Whereas *Adetognathus*, *Hindeodus*, *Idioproniodus*, *Ellisonia*, *Diplognathodus*, *Gondolella* and *Ubinates* are less expressive in these levels, assigning more offshore deposits of probably infratidal conditions varying in salinity and energy.

*Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Adetognathus*, *Diplognathodus* spp. and *Hindeodus* occurs in the quarry 3, although in less proportion attesting in addition with the sedimentary deposits of sandstones and including coal levels, a continental influx in a regressive episode.

Davis & Webster (1985) studying biofacies represented by *Idiognathodus* and *Idiognathoides* considered that these conodonts represent shallow marine, subtidal deposits with muddy substratum, low to moderate energy and normal salinity. *Neognathodus* biofacies generally represent lagoon deposits characterized by calcareous mudstones and common co-occurrence with *Adetognathus* or with *Idiognathodus* in shallow waters. *Adetognathus* biofacies typically represents more shallow waters of intertidal to lagoon deposits, characterized by moderate to high energy and high salinity conditions.

According to Dunn (1976), *Diplognathodus coloradoensis* is usually common in shallow marine waters, with relatively high energy conditions. Merrill & von Bitter (1976) propose that *Hindeodus* and *Idioproniodus* are more abundant in deep waters.

Thus, according to field investigation and conodont fauna, in addition to petrographic analyses described by Matsuda (2003) and Moutinho (2006), is proposed to the section herein studied a facies association of mainly proximal environment context to TAPTV and TAPCX, more open marine conditions through quarry 1, grading to a marine restricted deposits in the lower part of quarry 2, shifting to open marine deposits through quarry 2. Quarry 3 is characterized by strata of shallow marine waters overlaid by deposits diagnostic of a regressive episode marked by siliciclastic deposits with coal levels.

## CONCLUSIONS

The analyzed section comprise two outcrops along the Tapajós River named TAPCX and TAPTV and three quarries named 1, 2 and 3, stratigraphically representing respectively from the base to the top of the section. In lithostratigraphic terms the sandstones characteristic of fluvial and eolian deposits of the lower levels of the strata along the Tapajós River correspond to the upper part of Monte Alegre Formation. The overlaid carbonatic rocks of shallow marine deposits correspond to the basal Itaituba Formation.

Conodont association includes elements of *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus bothrops*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. roundyi*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*, *Idioproniodus* sp., *Ellisonia latilaminata*, *E. conflexa*, *Rhachistognathus muricatus*, *Ubinates advena* and *Gondolella* sp.

The occurrence of *Rhachistognathus muricatus* in TAPTV4 identify a Morrowan age to this level. The conodont association above comprises *Idiognathodus incurvus*, *Neognathodus roundyi*, *N. bassleri*, *N. medadultimus*, *N. bothrops* species predominantly of Atokan age.

The taxon-range zone *Rhachistognathus muricatus* comprehends the strata of the basal portion of the section (TAPTV) marked by the occurrence of *Rhachistognathus muricatus* of Morrowan age, including the boundary between Monte Alegre and Itaituba formations. The taxon-range zone *Diplognathodus orphanus* comprises the strata from the lower part of quarry 2 (P2C19) through middle-upper part of quarry 3 (P3C16), lithostratigraphically related to the Itaituba Formation. The assemblage zone *Idiognathodus incurvus/Neognathodus atokaensis/Neognathodus medadultimus* consists of the middle portion of TAPCX and TAPTV, along the Tapajós River (TAPTV7 though TAPTV12 and TAPCX 3.2 though TAPCX 3.5). In lithostratigraphic terms correspond to the Itaituba Formation, of Atokan age based in the conodont association.

Besides the differences in water energy, depth consistency of the substrate - characterized by physical structures and diagenetic and biogenic features - previously defined by field descriptions, stratigraphic and petrographic analyzes, the conodont

association herein studied corroborates with the occurrence of intercalated episodes of predominant open marine with more restrict water circulation. These episodes are responsible for the shifts in the depositional environment from supra, inter to subtidal, during the time of deposition of the studied sedimentary section.

### ***ACKNOWLEDGMENTS***

We are grateful to José Emidio and Paulo Rubens from CAIMA cement industries (nowadays ITACIMPASA) for permitting access to quarry localities. We also thank to M.Sc. Cristiane Pakulski da Silva for support in samples preparation and computer assistance. The research was supported by CNPq grant n° 472153/2003-0.

### ***REFERENCES***

- Altiner, D. & Savini, R. 1995. Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões Basin (North Brazil). **Revue de Paleobiologie**, **14**(2): 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**, **21**(2):221-228.
- Austin, R. L. 1987. **Conodonts: investigative techniques and applications**. British Micropaleontological Society Series, Ellis Horwood, 562p.
- Bender, K. P. 1980. Lower and Middle Pennsylvanian conodonts from the Canadian Arctic Archipelago. **Geological Survey of Canada**, **79**(15): 1-24.
- Cunha, P. R. C.; Gonzaga, F. G.; Coutinho, L. F. C. & Feijó, F. J. 1994. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, **8**(1):47-55.
- Davis, L. E. & Webster, G. D. 1985. Late Mississippian to Early Pennsylvanian Conodont Biofacies in Central Montana. **Lethaia**, **18**: 67-72.

- Dunn, D. L. 1976. Biostratigraphic problems of Morrowan and Derryan (Atokan) strata in the Pennsylvanian System of western United States. **Geological Society of America Bulletin**, **87**: 641-645.
- Ekmekci, I. E. & Kozur, H. W. 1999. Conodonts of Middle Moscovian Age from the Kongul Formation. (Bolkardag Unit), Northwest of Hadim, Central Taurus **Geol. Croat**, **52**(1): 1-8.
- Fúlfaro, V. J. 1965. Conodontes do Calcário Itaituba do Carbonífero do Rio Tapajós, Estado do Pará. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, **14**(1-2): 29-40.
- Grayson, R. C., Jr. 1990. Canyon Creek: A Significant Exposure of a Predominantly Mudrock. Succession Recording Essentially Continuous Deposition from the Late Devonian through the Middle Pennsylvanian. **Oklahoma Geological Survey Guidebook**, **27**: 85-114.
- Grayson, R. C., Jr.; Merrill, G. K.; Lambert, L. L. & Turner, J. 1989. Phylogenetic Basis for Species Recognition within the Conodont Genus *Idiognathodus*: Applicability to Correlation and Boundary Placement. In: Boardman II, D. R., Barrick, J. E., Cocke, J. & Nestell, M. K. (eds.), **Middle and Late Pennsylvanian Chronostratigraphic boundaries in northcentral Texas**. Texas Tech University Studies in Geology, **2**: 75-94.
- Lambert, L. L.; Barrick, J. E. & Heckel, P. H. 2001. Provisional lower and middle Pennsylvanian conodont zonation in Midcontinent North America. **Newsletter on Carboniferous Stratigraphy**, **19**: 50-55.
- Lane, H. R. 1977. Morrowan (Early Pennsylvanian) conodonts of northwestern Arkansas and northeastern Oklahoma, In: P. K. Sutherland & W. L. Manger (eds.), **Upper Chesterian Morrowan stratigraphy and the Mississippian-Pennsylvanian boundary in Northeastern Oklahoma and northwestern Arkansas**: Oklahoma Geological Survey Guidebook, **18**: 177-180.
- Lemos, V. B. 1990. **Assembléias de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas**. Porto Alegre. 259p. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lemos, V. B. 1992a. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia - Parte I. **Pesquisas**, **19**(1): 75-93.

- Lemos, V. B. 1992b. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia - Parte II. **Pesquisas**, **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, 2: 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 Petrobras**, **10**(1-4): 165-173.
- Lemos, V. B. & Medeiros, R. A. 1996b. Conodontes do Carbonífero Inferior da Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, **10**(1-4): 55-60.
- Lemos, V. B. & Scomazzon, A. K. 2001. Carboniferous biochronostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil, based on conodonts. Correlação de Sequências Paleozóicas Sul-Americanas, Melo, J.H.G. & Terra, G.S.T. (eds.). **Ciência Técnica Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo**, **20**: 131-138.
- Manger, W. I. & Sutherland, P. K. 1984. Preliminary conodont biostratigraphy of the Morrowan-Atokan boundary (Pennsylvanian), eastern Llano Uplift, central Texas. **Oklahoma Geological Survey Bulletin**, **136**: 115-122.
- Matsuda, N. S. 2003. **Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite in the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazon Basin, Northern Brazil**. Tokyo. 231p. Tese de Doutorado em Ciências, Department of Earth & Planetary Sciences, University of Tokyo.
- Merrill, G. K. & von Bitter, P. H. 1976. Revision of conodont biofacies nomenclature and interpretations of environmental controls in Pennsylvanian rocks of eastern and central North America. **Royal Ontario Museum, Life Sciences Contributions**, **108**: 1-46.
- Milani, E. J. & Zalán, P. V. 1998. **The geology of paleozoic cratonic basins and mesozoic interior rifts of Brazil**. (Brazilian Geology Part I). AAPG International Conference & Exhibition, 184p.
- 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**. Porto Alegre. 325p. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Nascimento, S.; Scomazzon, A. K.; Moutinho, L. P.; Lemos, V. B. & Matsuda, N. S. 2005. Conodont Biostratigraphy of the Lower Itaituba Formation (Atokan, Pennsylvanian), Amazonas Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, **8**(3): 193-202.
- Neis, P. A. 1996. **Resultados biocronoestratigráficos das associações de conodontes da Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas**. Porto Alegre. 138p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Playford, G. B. & Dino, R. 2000. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part one. **Palaeontographica Beitrage Zur Naturgeschichte Der Vorzeit. Abt. B. Bd.**, 255: 1-46.
- Rexroad, C. B.; Brown, L. M.; Devera, J. & Suman, R. J. 1998. Conodont Biostratigraphy and Paleocology of the Perth Limestone Member, Stauton Formation (Pennsylvanian) of the Illinois Basin, U.S.A. **Paleontologia Polonica**, **58**: 247-259.
- Rexroad, C. B.; Wade, J. A.; Merrill, G. K.; Brown, L. M. & Padgett, P. 2001. Conodont Biostratigraphy and Depositional Environments of the Mecca Quarry Shale Member and the Velpen Limestone Member of the Linton Formation (Pennsylvanian, Desmoinesian) in the Eastern Part of the Illinois Basin, U.S.A. **Indiana Geological Survey, Special Report**, **63**:19p.
- Rocha-Campos, A. C. & Archangelsky, S. 1986. South America. In: Wagner, R. H.; Prins, W.; Granatos, J. F., eds., **The Carboniferous of the World II, Australia, Indian Subcontinent, South Africa, South America & North Africa**. IUGS Publication, Instituto Geológico y Marino de España, Madrid, 20: 175-272.
- Scomazzon, A. K. 1999. **Refinamento bioestratigráfico com base em conodontes, Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, região do Tapajós**. Porto Alegre. 142p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 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**. Porto Alegre. 294p. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Scomazzon, A. K. & Lemos, V. B. 2005. *Diplognathodus* occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, **8**(3): 203-208.



- Scotese, C. R. & Mckerrow, W. S. 1990. Palaeozoic palaeogeography and biogeography. In: W.S. Mckerrow & C.R. Scotese (eds.) **Revised World maps and introduction**, Geological Society Memoir, 12: 1-21.
- 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, 1996, Belém. **Anais...** Belém, SBG, p. 199-202.
- 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, 1976, Ouro Preto. **Anais...**Ouro Preto, SBG. 365p.
- von Bitter, P. H. & Merrill, G. K. 1990. Effects of variation on the speciation and phylogeny of *Diplognathodus* – **Cour. Forsch. – Inst. Senckenberg**,

*CAPÍTULO 6*

BIOCHRONOSTRATIGRAPHY (CONODONTS AND PALYNOLOGY) FROM THE  
ITAITUBA FORMATION, PENNSYLVANIAN OF THE AMAZONAS BASIN

SARA NASCIMENTO\*<sup>1</sup>, LARISSA PALUDO SMANIOTTO<sup>1</sup>, PAULO ALVES DE SOUZA<sup>1</sup>,  
VALESCA BRASIL LEMOS<sup>1</sup> & ANA KARINA SCOMAZZON<sup>1</sup>.

1 - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91509-970, Porto Alegre, RS.

\*<sup>1</sup> Corresponding Author: [aiatha@yahoo.com.br](mailto:aiatha@yahoo.com.br)

**Resumo**

Este estudo tem por objetivo apresentar os dados bioestratigráficos de conodontes e palinómorfos recuperados de afloramentos da Formação Itaituba, na borda sul da Bacia do Amazonas. A associação de conodontes inclui *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*. Os palinómorfos *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* e *Meristocarpus* sp. B são espécies importantes para a bioestratigrafia e posicionam tais estratos no Atokano médio, corroborando com a idade atokana obtida pelos conodontes *Idiognathodus incurvus* e *Diplognathodus orphanus*.

Palavras-chave: Conodontes, Palinómorfos, Biocronoestratigrafia

**Abstract**

This study reports the biostratigraphic data of conodonts and palynomorphs recovered from outcropping strata of the Itaituba Formation in the southern edge of the Amazonas Basin. The conodont association includes *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*. Palynomorphs *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* and *Meristocarpus* sp. B, are important biostratigraphic species to the middle Atokan, helping the chronostratigraphic refinement and confirming with the age obtained by conodonts *Idiognathodus incurvus* and *Diplognathodus orphanus* in this strata.

Key-words: Conodonts, Palynomorphs, Biochronostratigraphy

## 1. Introduction

The Amazonas Basin is a large intracratonic sedimentary basin, occupying ca. 500,000 km<sup>2</sup> in the northern portion of Brazil, in the states of Amazonas and Pará (Milani & Zalán, 1998), and has been subject of geological interest, mainly for petroleum. Stratigraphical and structural studies were carried out by Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRÁS), based on subsurface data from some 200 wells, most of them continuously cored, furnishing information for lithostratigraphic subdivisions (Caputo, 1984). By other hand, due an extensive rainforest and deep soil cover of this basin, outcrops are scarce and confined to marginal areas, including outcropped sections analyzed herein. Essentially Paleozoic strata constitute the geological sedimentary record of this basin, encompassing Ordovician to Permian deposits, covered by Upper Cretaceous to Paleogene fluvial and lacustrine units.

During the Pennsylvanian and the Permian, the Amazonas Basin was located in the north border of the western portion of the Gondwana, constituting a wide intracratonic basin subject to sea level oscillations. In these areas, expressive carbonates and evaporitic beds were deposited, bearing a diversified microfossil record. These sedimentary deposits correspond to the Tapajós Group, composed by the lithostratigraphical units Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda (Pennsylvanian) and Andirá (Permian) formations (Caputo *et al.*, 1971, Caputo, 1984). Age estimations for the Tapajós Group have been based on spore-pollen assemblages (Daemon & Contreiras, 1971; Playford & Dino, 2000a, b), fusulinids (Altiner & Savini, 1991, 1995), and conodonts (Lemos, 1992a, b; Lemos & Scmazzon, 2001; Scmazzon & Lemos, 2005; Nascimento *et al.*, 2005).

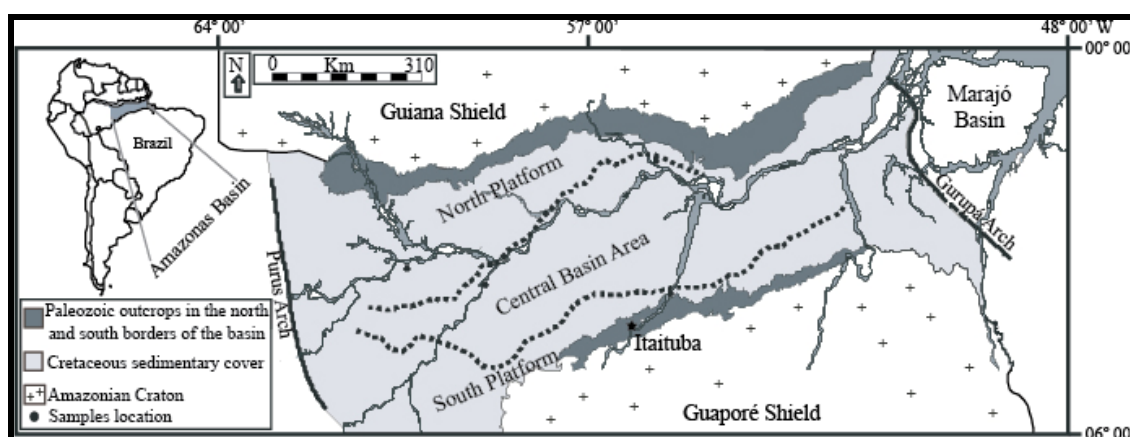
In this manner, this paper complements previous taxonomic and biostratigraphical works focusing the Itaituba Formation based on conodont data of outcrops along the southern area of this basin, in the Pará State. Furthermore, unpublished palynological data are presented herein, which are integrated with biostratigraphical information given by conodonts, in order to promote best accuracy to the biochronostratigraphy of this unit in the studied area. The section examined is concerned to one limestone quarry, named as 3, which is located in the ITACIMPASA Cement

Company, 40 km far from the Itaituba City. Conodonts are presented for the first time to this quarry, as well as palynomorphs. Integrated data from both groups furnish a significant contribution to the biostratigraphy and respective attributed relative ages to the Itaituba Formation.

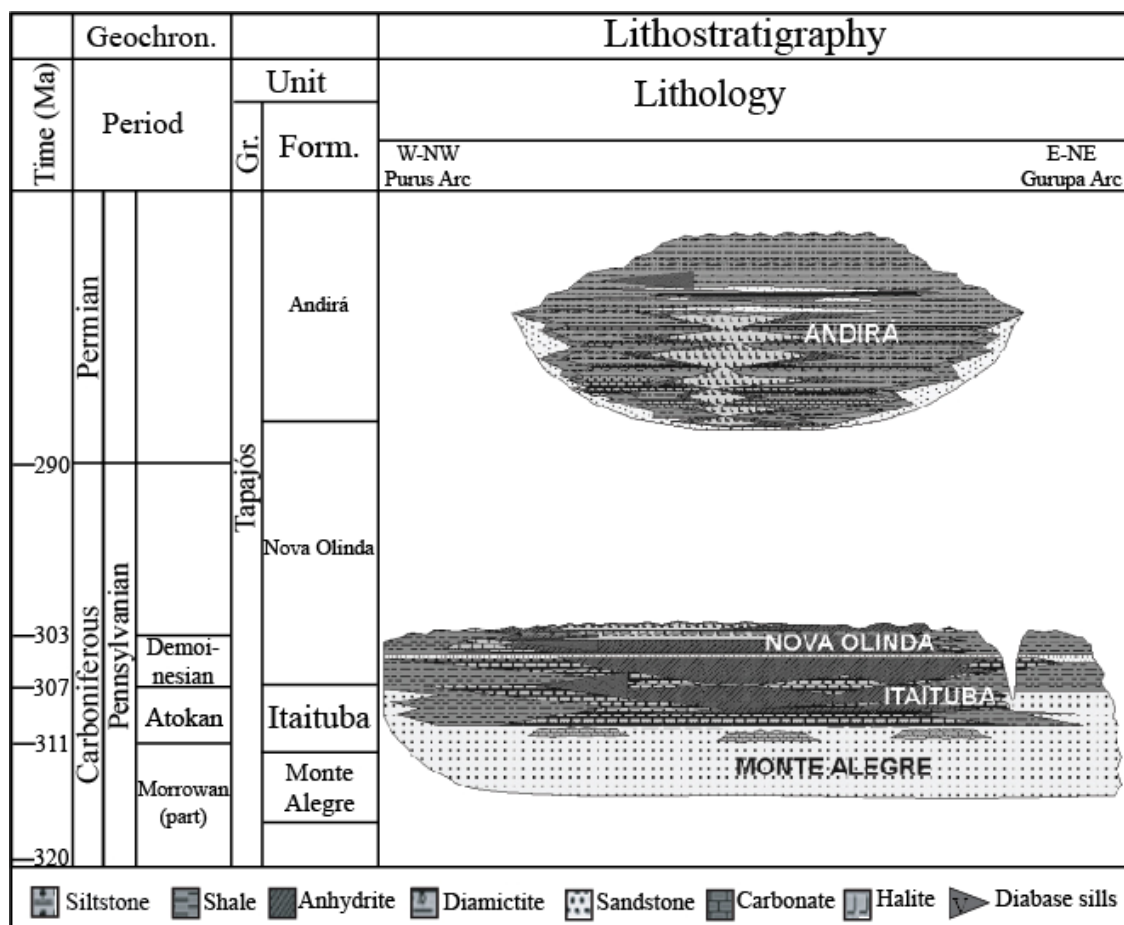
## 2. Geological and biostratigraphical setting

### 2.1. Geology

According to Cunha (1994) the Paleozoic stratigraphic framework of the Amazonas Basin (Fig. 1) includes four units: a) Upper-Lower Devonian Sequence (Trombetas Group); b) Middle Devonian-Lower Carboniferous Sequence (Urupadí Group and Curuá Group); c) Upper Carboniferous-Permian Sequence (Tapajós Group); d) Middle Cretaceous-Recente Sequence (Javari Group). From these, the Pennsylvanian – Permian unit, of interest herein, (Fig. 2) includes four lithostratigraphical units, in ascending order, Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda and Andirá formations.



**Figure 1.** Location map of Amazonas Basin. Studied area identified by a star (modified from Scomazzon, 2004).



**Figure 2.** Chronostratigraphic chart of the Tapajós Group based on the latest data by Playford & Dino (2000) (modified from Matsuda, 2003).

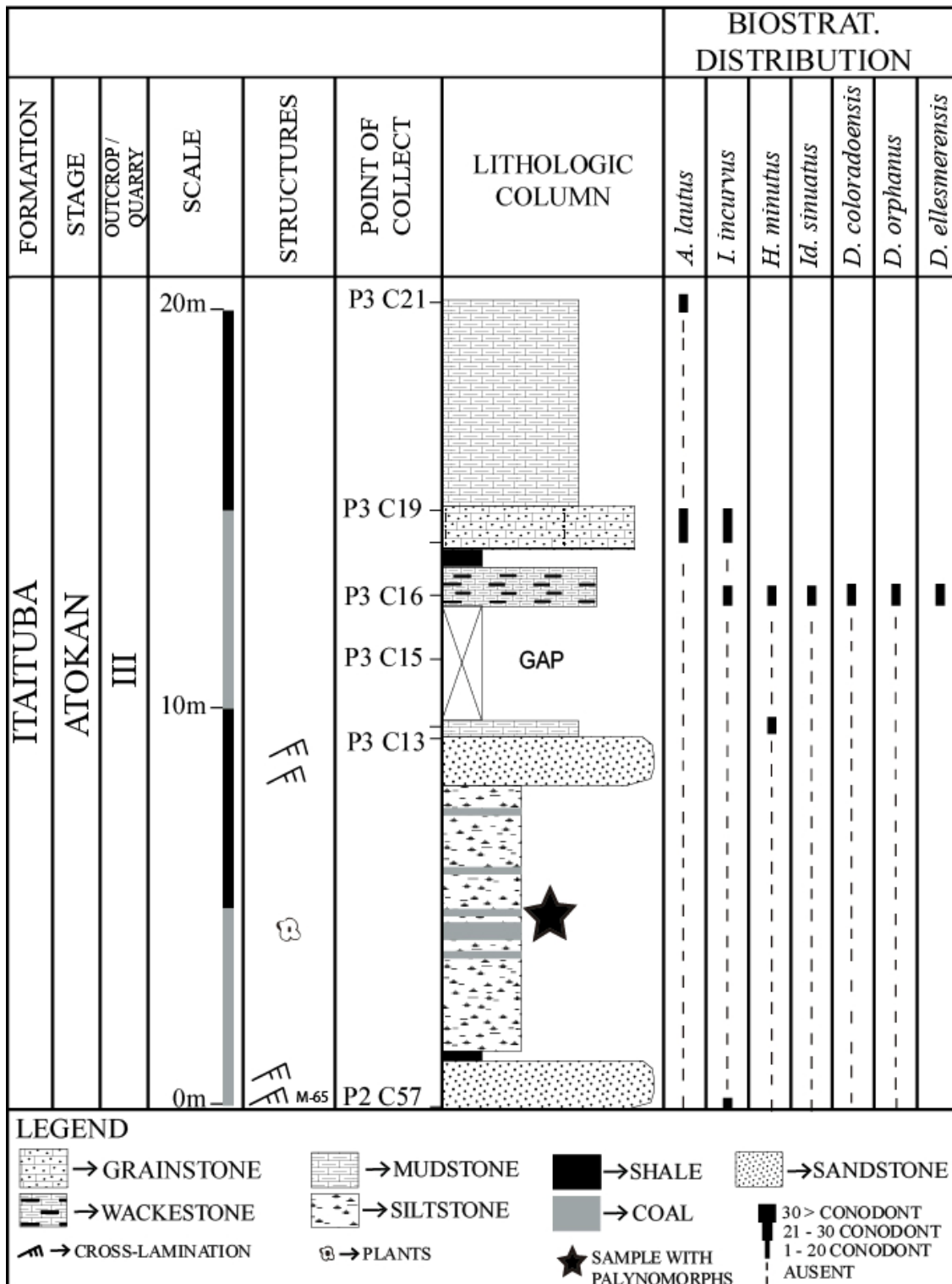
The Itaituba Formation is constituted by a thick package of marine carbonates related to the first Pennsylvanian marine ingression in the basin and has been commonly regarded late Morrowan to early Desmoinesian in age, according to conodonts, fusulinids and palynomorphs data. This unit overlies the Monte Alegre Formation, of late Morrowan-Atokan in age based on conodonts and palynomorphs. The Itaituba Formation varies from 110 m in thickness in the southern outcropping area to 420 m in the central part of the basin (subsurface). A diverse marine fauna with U.S. Midcontinent affinities characterizes the carbonate units, and is the richest known fauna of the Amazonas Basin, including corals, bryozoans, crinoids, trilobites, ostracods, gastropods, bivalves, brachiopods, fish remains besides microfossils. Shale and siltstone beds often contain crustaceans and plants indicative of episodic freshwater deposition, that are interpreted as shallow marine subtidal to supratidal deposits. The Itaituba Formation of Atokan-early

Desmoinesian age according to conodont data is overlaid conformably by the Nova Olinda Formation (Carozzi *et al.*, 1972; Caputo, 1984; Altiner & Savini, 1991; Lemos, 1990; Playford & Dino, 2000a, b).

The deposits of quarry 3 are about 20 m long, beginning with sandstones overlapping silty facies, rich in organic matter, with levels of fossil plants and coal, and comprises mainly carbonate and siliciclastic rocks, often containing physical and biogenic structures indicative of episodic freshwater deposition interpreted as shallow supratidal deposits by Matsuda (2003) and Moutinho (2006), in which were found the palynomorphs here discussed.

The sandstones deposits in the basal strata of quarry 3 were considered by Matsuda (2003) as stratigraphically equivalent to the Mark 65 of Carozzi *et al.* (1972), a lithostratigraphic standard attributed to the Morrowan – Atokan limit. However, Scorzazon (2004) provided evidences by means of conodonts and lithostratigraphic correlation, that the Carozzi's Mark 65 would actually be correlated with the siliciclastic deposits of the lower strata of the Tapajós River, corroborated by Nascimento *et al.* (2005) and Nascimento *et al.* B (submitted) studies.





**Figure 3.** Stratigraphic profile of part of the Itaituba Formation, Quarry 3, Tapajós Region with plotted conodonts and palynomorphs.

## 2.2. Conodont biostratigraphy

Marine deposits of the Itaituba Formation are especially rich in conodonts, which allowed the establishment of biozonations (Lemos, 1992a, b; Lemos & Scomazzon, 2001; Scomazzon & Lemos, 2005; Nascimento *et al.*, 2005). Late Morrowan, Atokan and early Desmoinesian ages have been furnished by this microfossil group, including several common taxa of the North American Midcontinent stages, as briefly discussed below.

Lemos (1990) studied eighteen wells from diverse localities of north, south and central area of the Amazonas Basin, and described three assemblage zones, in ascending stratigraphical order: the *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathus muricatus* Zone, the *Diplognathodus orphanus/Diplognathodus coloradoensis* Zone, and the; *Streptognathodus elongatus/Idiognathodus ellisoni* Zone. The first zone contains *Rhachistognathus muricatus* and *Neognathodus symmetricus* which are characteristic of early Morrowan age. These species occur in the Monte Alegre Formation and lower part of the Itaituba Formation. The second zone contains *D. orphanus*, which is typical of the Atokan, and *Diplognathodus coloradoensis*, typical of the early Desmoinesian, and was recovered from the middle part of the Itaituba Formation. The third zone is characterized by the presence of *Streptognathodus elongatus* and *Idiognathodus ellisoni*, which were interpreted to be of Middle-Late Pennsylvanian age, recovered from the Nova Olinda Formation.

Based on four wells from north and south area of the Amazonas Basin, Neis (1996) suggested two assemblage zones: *Idiognathoides ouachitensis/Rhachistognathus muricatus; Diplognathodus* spp. The first zone is typical of Morrowan age and occurs from Monte Alegre to lower Itaituba Formation. The second zone, with *Diplognathodus* spp. suggests an Atokan age and occurs within the Itaituba Formation. In this way, the conodont associations studied by Neis (1996) characterize a late Morrowan to middle Atokan age for the analyzed interval.

Scomazzon (1999) studied the uppermost part of Monte Alegre Formation and the lower Itaituba Formation from outcrops of south platform area, erecting three local interval zones: *Idiognathodus sinuosus/Rhachistognathus muricatus* - late Morrowan, comprising the uppermost part of Monte Alegre Formation and the lower part of the

Itaituba Formation; *Idiognathodus klapperi*/*Streptognathodus parvus* - late Morrowan-Atokan, corresponding to the Itaituba Formation; *Idiognathodus claviformis*/*Idiognathodus incurvus* - early Desmoinesian age to the uppermost part of Itaituba Formation.

Lemos & Scmazzon (2001) redesigned the third zone of Lemos (1990), formerly the *Streptognathodus elongatus*/*Idiognathodus ellisoni* Zone, as the *Idiognathodus claviformis*/*Idiognathodus incurvus* Zone. This biozone occurs near the base of the Nova Olinda Formation estimating an early Desmoinesian age to the analyzed interval.

Based on eighteen wells and part of the south outcrops, comprising a profile from north through south platform of the Amazonas Basin, Scmazzon (2004) established a taxon-range zone of *Idiognathodus incurvus* to the Itaituba Formation and lower part of Nova Olinda Formation and a sub-zone of *Diplognathodus coloradoensis* to the Itaituba Formation, suggesting middle Atokan – early Desmoinesian age to the analyzed section.

Nascimento *et al.* (2005) proposed one taxon-range zone and one sub-zone to the strata of quarries 1 and 2, in the south region of the Itaituba Formation, respectively: *Idiognathoides sinuatus* zone and *Neognathodus roundyi* sub-zone. The *Idiognathoides sinuatus* zone extends from the lower part of quarry 1 to the upper part of quarry 2, and is recognized by the occurrence of the species nominated zone. The *Neognathodus roundyi* sub-zone is recognized by the local occurrence of this species in the basal portion of quarry 2. The proposed zone and sub-zone helps to estimate an Atokan age to this profile.

Two taxon-range zones named *Rhachistognathus muricatus* and *Diplognathodus orphanus* were proposed by Nascimento *et al.* B (submitted). The former zone corresponds to the Morrowan stage, correlated lithologically with the upper strata of the Monte Alegre Formation and lower Itaituba Formation. The latter zone corresponds to the Atokan stage, correlating in lithostratigraphic terms with the Itaituba Formation. An assemblage zone named *Idiognathodus incurvus*/*Neognathodus atokaensis*/*Neognathodus medadultimus* was also proposed, corresponding to the Atokan stage lithologically related to the Itaituba Formation.

The occurrence of *Diplognathodus orphanus* up to the level P3C16 and *Idiognathodus incurvus* until the level P3C19, both quarry 3, confirm an Atokan age to the upward section (Nascimento *et al.*, B submitted).

### 2.3. Palynostratigraphy

An extensive taxonomic work was developed by Playford & Dino (2000a, 2000b), from core samples and cutting of 26 boreholes, in a total of 445 well distributed samples along the Amazonas Basin, encompassing all the lithostratigraphic units of the Tapajós Group. From those 26, six boreholes were chosen to build a palynostratigraphic reference section of the Tapajós Group due cover the vertical extent of main zones.

Seven successive palynozones were erected by those authors, based on the spore-pollen distribution. According to them, these zones are in general agreement with the assemblage zone concept, and each unit was named from a prominent component species.

The zones were erected based in their essential or characteristic species composition, boundaries criteria and special distribution of certain species. With exception of the *Raistrickia cephalata* Zone and the *Tornopollenites toreutos* Zone, which has stratigraphically restricted species, none species are confined to these zones. Then, other features must be considered for later recognition of each zone, mainly taking into account outcropping materials, such as the abundance and the concurrence of certain species.

In stratigraphical ascending order, these palynozones are: *Spelaeotriletes triangulus* Zone, *Striomonosaccites incrassatus* Zone, *Illinites unicus* Zone, *Striatosporites heyleri* Zone, *Raistrickia cephalata* Zone, *Vittatina costabilis* Zone and, the *Tornopollenites toreutos* Zone. The *Spelaeotriletes triangulus* Zone was recognized within the Monte Alegre Formation and the lowermost Itaituba Formation, and was assigned to the Westphalian A/B (Morrowan/Atokan) age. The subsequent *Striomonosaccites incrassatus* Zone and the *Illinites unicus* Zone also belong to the Itaituba Formation, and were regarded Westphalian C (Atokan/Desmoinesian) in age. The *Striatosporites heyleri* and the *Raistrickia cephalata* Zone occur within the basal and middle portion of the Nova Olinda Formation, assigned to the Westphalian C/D (Desmoinesian) age. To Playford & Dino (2000a, b), the upper Nova Olinda Formation and the lower Andirá Formation constitute the *Vittatina costabilis* Zone, assigned to the Sakmarian/Kazanian (Wolfcampian/Wordian) age, while the *Tornopollenites toreutos* Zone, related to the middle and upper Andirá Formation, was assigned to the Kazanian/Tatarian (Wordian/Capitanian) age. Based on the ages attributed by Playford & Dino (2000b, text-fig. 5), a significant hiatus characterizes

the limit between the Pennsylvanian *Raistrickia cephalata* Zone and the Early Permian *Vittatina costabilis* Zone, within the Andirá Formation.

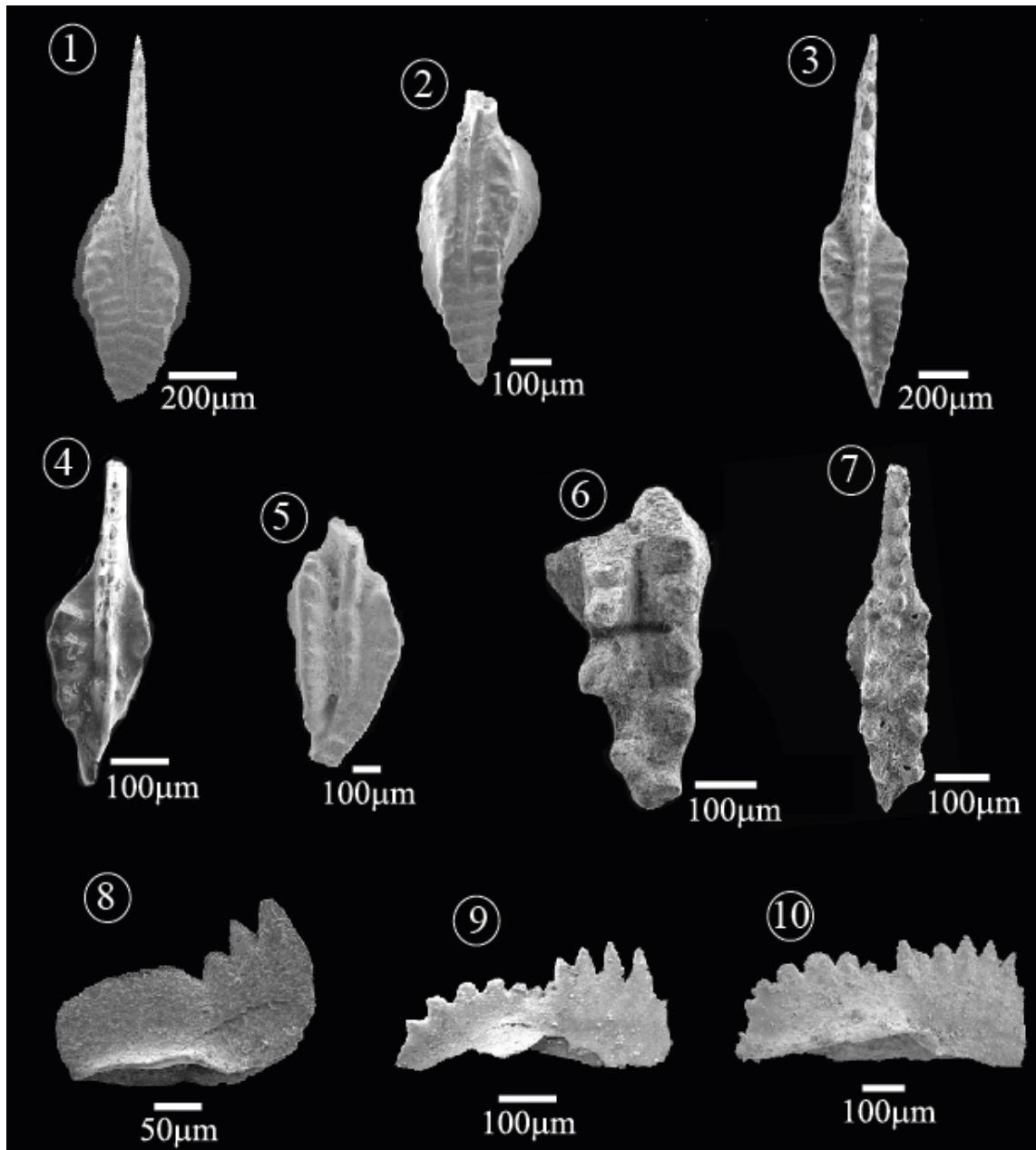
### **3. Materials and Methods**

A total of 7 levels (Tab. 1) from the quarry 3 were sampled for conodont analysis and processed according to methods of Austin (1987).

The P3C6 level was selected for palynological studies, taking into account macroscopic features of best potential for organic-walled microfossil preservation.

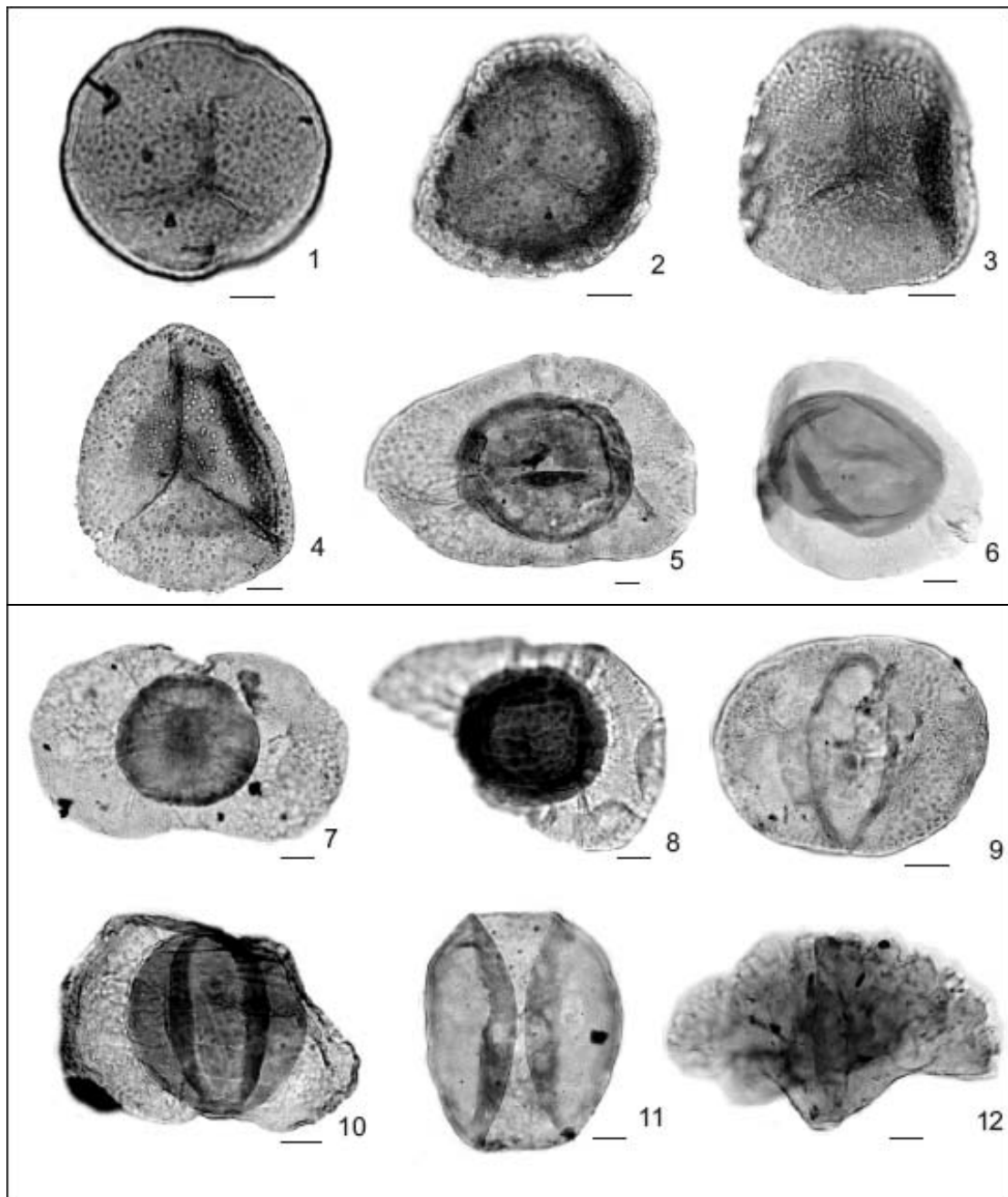
Palynomorphs were retrieved using the standard palynological method for Paleozoic samples (Quadros & Melo, 1988). Carbonates and silicates were removed using hydrochloric acid for some minutes and then hydrofluoric acid for at least for 24 h. Palynomorphs were concentrated for miospore study, with sieves of 20-250  $\mu\text{m}$ . Glass slides were prepared from few drops of residue mounted with polyester resins (“Celosize” and “Entellan”). The taxonomic study and the photographs were made under optical light microscopy.

Conodont slides are housed in the Laboratory of Conodonts under catalogue numbers MP-M 816 to MP-M 822. Palynological slides are housed in the Laboratory of Palynology, under catalogue numbers MP-P 5551 to MP-P 5557. Both laboratories are located in the Department of Paleontology and Stratigraphy, Geosciences Institute, of the Rio Grande do Sul Federal University. Additional information of illustrated specimens is included in their respective legends (Figs. 4 and 5).



**Figure 4.** Conodonts from quarry 3, Itaituba Formation – Amazonas Basin

**1.** MP-M-816 *Idiognathoides sinuatus* (P3C16); **2.** MP-M-817 *Idiognathodus incurvus* (P3C16); **3.** MP-M-818 *Idiognathodus incurvus* (P3C16); **4.** MP-M-819 *Adetognathus lautus* (P3C21); **5.** MP-M-820 *Hindeodus minutus* (P3C14); **6.** MP-M-821 *Diplognathodus orphanus* (P3C16); **7.** MP-M-822 *Diplognathodus coloradoensis* (P3C16).



**Figure 5.** The Palynomorphs.

**1.** *Apiculatasporites daemonii* Playford & Dino, 2000; **2.** *Vallatisporites punctatus* (Marques-Toigo) Souza, Dino & Petri, 2003; **3.** *Spelaotriletes triangulus* Neves & Owensm, 1966; **4.** *Spelaotriletes arenaceus* Neves & Owens, 1966; **5.** *Potonieisporites novicus* Bhardwaj, 1954; **6.** *Striomonosaccites incrassatus* Playford & Dino, 2000; **7.** *Meristocarpus* sp. B Playford & Dino, 2000; **8.** *Meristocarpus* sp. B Playford & Dino, 2000; **9.** *Meristocarpus explicatus* Playford & Dino, 2000; **10.** *Protohaploxypinus amplus*

(Balme & Hennelly) Hart, 1964; **11.** *Cycadopites* sp.; **12.** *Botryococcus braunii* Kützing, 1949. (Escale: 10µm).

#### 4. Results

Unpublished palynological data are presented here integrated with biostratigraphical results given by conodonts that are presented for the first time to this quarry.

The conodonts in the quarry 3 are mainly Pa elements of *Idiognathodus*, *Diplognathodus*, *Idiognathoides*, *Adetognathus* and *Hindeodus*. The species *Idiognathodus incurvus* and *Diplognathodus orphanus* are the dominant. The occurrence of *Diplognathodus orphanus* an excellent marker of atokan age by the level P3C16, and *Idiognathodus incurvus* up to the level P3C19, both in quarry 3, confirm an atokan age for this section. The associations of conodonts however are poor diversives and shows bad preservation and the elements are rare in all levels, except in level P3C16, a wackstone (Fig. 3). (Nascimento *et al.*, B submitted).

Below this point, in quarry 2, the variety, abundance and preservational conditions are better. Nascimento *et al* B (submitted).

Among four processed samples from the quarries 1, 2 and 3, only one sample from quarry 3 resulted satisfactory for palynological analysis, which bears well preserved and diversified spore-pollen species. The P3C6 level was selected for palynological studies, taking into account macroscopic features of best potential for organic-walled microfossil preservation. Four species of spores, 12 of pollen grains and one algae (chlorophycean) were recorded as indigenous taxa. Assemblage is relatively diversified, being pollen grains dominant, mainly those ones with radial symmetry, such as *Cannanoropollis* spp. Among the spores, most frequent species are the cavate ones (mainly *Spelaotriletes arenaceus* and *S. triangulus*), while monosaccate pollen with radial symmetry, such as *Cannanoropollis* spp., are most commom among the pollen grains.

Indigenous species of spores are: *Apiculatasporites daemonii* Playford & Dino, 2000, *Vallatisporites punctatus* (Marques-Toigo) Souza, Dino & Petri, 2003, *Spelaotriletes arenaceus* Neves & Owens, 1966 and *Spelaotriletes triangulus* Neves & Owens, 1966; pollen grains are: *Potonieisporites novicus* Bharadwaj, 1954, *Potonieisporites congoensis* Bose & Maheshwari, 1968, *Costatascyclus crenatus* Felix & Burbridge emend Urban, 1971, *Cannanoropolis janakii* R. Potonié & Sah, 1960,



*Cannanoropolis densus* (Lele) Bose & Maheshwari, 1968, *Plicatipolenites malabarensis* (R. Potonié & Sah) Foster, 1975, *Striomonosaccites incrassatus* Playford & Dino, 2000, *Meristocarpus explicatus* Playford & Dino, 2000, *Meristocarpus* sp. B Playford & Dino, 2000, *Illinites unicus* Kosanke, 1950, *Protohaploxypinus amplus* (Balme & Hennelly) Hart, 1964 and *Cycadopites* sp. Chlorophicean algae was also recorded (*Botryococcus braunii* Kützing, 1949).

Furthermore, recycled species were also recorded, which is more common from Devonian strata of the South American intracratonic basins, such as *Maranhites insulatus* Burjack & Oliveira, 1989. These reworked species are generally semi-destroyed, while indigenous species are relatively best preserved.

Indetermined megaspores and plant remains (*Lepidodendrum*) were also recorded in quarry 3, associated with palynomorphs. Megaspores specimens show low variety and are bad preserved. They will be the focus of more detailed future studies. The conodonts are absent at this level.

QUARRY 3	LITHOLOGY	<i>Adetognathus lautus</i>	<i>Idiognathodus incurvus</i>	<i>Idiognathoides sinuatus</i>	<i>Hindeodus minutus</i>	<i>Diplognathodus coloradoensis</i>	<i>Diplognathodus orphanus</i>	<i>Diplognathodus ellesmerensis</i>
C21	sandstone	2						
C20	gypsite mudstone							
C19	foraminiferous grainstone	2	1					
C18	muddy dolostone	3	1					
C16	echinoderm wackestone		15	5	2	1	12	3
C14	gypsite siliciclastics laminated				2			

**Table 1.** Conodont distribution on outcrops studied. Other than Pa elements are informed in the table.

## 5. Discussion

This work reports for the first time conodonts and palynomorphs associations found in quarry 3. The information obtained from the conodonts consent with the information obtained from palynomorphs.

The palynomorphs and megaspores were obtained from the middle/lower section of the quarry 3 (P3C6), siltstones with coal intercalations. The megaspores association is abundant but poorly diversified and badly preserved.

The samples analyzed for palynology provided some important species for biostratigraphy, such as *Spelaotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* and *Meristocarpus* sp. B of Playford & Dino (2000b). This pollen assemblage concerns to the *Striomonosaccites incrassatus* Zone, because only in these zone those pollens species are found together.

According to Playford & Dino (2000b), this zone occurs at the middle part of the Itaituba Formation, in agreement with the stratigraphic positioning pointed herein as middle Atokan, can be correlated with *Diplognathodus orphanus* taxon range Nascimento *et al* B (submitted). High frequencies of *Spelaotriletes arenaceus* and *S. triangulus* were observed in the studied sample, in accordance with the main characteristics of the *S. incrassatus* Zone.

The conodonts were recovered from the middle section of quarry 3 (P3C16), a wakstone. The conodont association is poor and badly preserved. Besides, the presence of *Diplognathodus orphanus* up to the level P3C16 and *Idiognathodus incurvus* by the level P3C19, confirm an Atokan age to the section. In this manner, conodonts studies corroborate the palynological data and complements the knowledge of the study area, establishing the biochronostratigraphy of the herein analyzed section.

## **6. Final Consideration**

For the first time conodonts and palynomorphs in association were studied and reported from an Amazonas Basin quarry and the obtained information are complementary helped chronostratigraphic correlation giving an Atokan age for the section studied.

The occurrence of *Diplognathodus orphanus* an excellent marker of atokan age up to the level P3C16, and *Idiognathodus incurvus* by the level P3C19, both in quarry 3, confirm an Atokan age for this section.

High frequencies of *Spelaeotriletes arenaceus* and *S. triangulus* were observed in the studied sample, in accordance with the main characteristics of the *S. incrassatus* Zone positioning pointed herein as middle Atokan, and can be correlated with *Diplognathodus orphanus* taxon range Nascimento *et al* B (submitted).

More detailed studies, however, are necessary to assess the potential of megapores and test its biostratigraphic usefulness together with conodonts and palynomorphs.

## **Acknowledgements**

We are grateful to José Emidio and Paulo Rubens from CAIMA cement industries (nowadays ITACIMPASA) for permitting access to quarry localities. We also thank to M.D. Cristiane Pakulski da Silva for support in samples preparation and computer assistance. The research was supported by CNPq grant n° 472153/2003.

## **6 References**

- 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. (Relatório Interno).
- Altiner, D.; Savini, R. 1995. Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões Basin (North Brazil). **Revue de Paleobiologie**, **14**(2): 417-453.
- Austin, R. L. 1987. **Conodonts: Investigative techniques and applications**. Ellis Horwood. 562p. (British Micropaleontological Society Series).
- Caputo, M. V. 1984. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. 1984. 582p. Ph. D. Dissertation - University of California, Santa Barbara.
- Caputo, M. V.; Rodrigues, R.; Vasconcelos, D. N. N. 1971. Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. Belém: PETROBRÁS/RENOR. **PETROBRAS report**. (unpublished).
- Carozzi, A. V.; Alves, R. J.; Castro, J. C. 1972. Controle tectônico sedimentar dos carbonatos permo-carboníferos das formações Itaituba e Nova Olinda da Bacia do Amazonas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, Belém, 1972. **Anais**. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 1972, v. 3, p. 47 – 64.
- Cunha, P. R. C.; Gonzaga, F. G.; Coutinho, L. F. C. & Feijó, F. J. 1994. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, **8**(1): 47-55.
- Daemon, R. F. & Contreiras, C. J. A. 1971. Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. *In*: Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia, 3, São Paulo, pp. 79-88.
- Lemos, V. B. 1990. **Assembléias de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas**. Porto Alegre. 259p. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lemos, V. B. 1992a. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia Parte I. **Pesquisas**, **19**(1): 75-93.
- Lemos, V. B. 1992b. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia - Parte II. **Pesquisas**, **19**(2): 120-131
- Lemos, V. B. & Scomazzon, A. K. 2001. Carboniferous biostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil, based on conodonts. Correlação de Sequências Paleozóicas

- Sul-Americanas. Melo, J. H. G. & Terra, G. S. T. (eds.). **Ciência Técnica Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo, 20**: 131-138.
- Matsuda, N. S. 2003. **Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite in the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazon Basin, Northern Brazil**. Tokyo. 231p. Tese de Doutorado em Ciências, Department of Earth & Planetary Sciences, University of Tokyo.
- Milani, E.J. & Zalán, P.V. 1998. **The geology of paleozoic cratonic basins and mesozoic interior rifts of Brazil**. (Brazilian Geology Part I). AAPG International Conference & Exhibition, 184p.
- Moutinho, L. P. 2006. **Assinaturas tafonômicas dos invertebrados da Formação Itaituba – Aplicação como ferramenta de análise estratigráfica e paleológica na seção pensilvaniana aflorante na porção sul da Bacia do Amazonas, Brasil**. 325f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Nascimento, N; Scomazzon, A. K; Lemos, V. B.; Moutinho, L. P.; Matsuda, N. S. Conodont Biostratigraphy and Paleocology of a Lower Pennsylvanian Marine Calcareous Profile - Itaituba Formation, Southern Region of Amazonas Basin. **Pesquisas em Geociências** (Submitted B).
- Nascimento, S.; Scomazzon, A. K.; Moutinho, L. P.; Lemos, V. B. & Matsuda, N. S. 2005. Conodont Biostratigraphy of the Lower Itaituba Formation (Atokan, Pennsylvanian), Amazonas Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, 8(3): 193-202.
- Neis, P. A. 1996. **Resultados biocronoestratigráficos das associações de conodontes da Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas**. Porto Alegre. 138p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Playford, G. & Dino, R. 2000a. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part one. **Palaeontographica** Abt. B. Bd., 255: 1-46.
- Playford, G. B. & Dino, R. 2000b. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part two. **Palaeontographica** Abt. B, 255:87-145.
- Quadros, L. P. de. & Melo, J. H. G. 1988. Método prático de preparação palinológica em sedimentos pré-mesozóicos. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 1(2): 205-214.

- Scomazzon, A. K. 1999. **Refinamento bioestratigráfico com base em conodontes, Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, região do Tapajós**. Porto Alegre. 142p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 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**. Porto Alegre. 294p. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Scomazzon, A. K. & Lemos, V. B. 2005. *Diplognathodus* occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, 8(3): 203-208.

*ANEXOS*

*Anexo A – Cartas de aceitação dos artigos científicos desenvolvidos durante a tese*



MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA



Instituto Geológico  
y Minero de España

MUSEO GEOMINERO

REVISTA ESPAÑOLA DE MICROPALAEONTOLOGÍA

*Isabel Rábano*  
Editor

Dr. S. Nascimento  
IG/UFRGS  
Avenida Bento Gonçalves 9500  
91509-900 Porto Alegre  
Brazil

Madrid, November 27, 2007

Dear Dr. Nascimento,

This is to acknowledge the receipt of your manuscript entitled "First occurrence of *Ellisonia* in Brazil, Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazon Basin", by S. Nascimento, V. Brasil Lemos, A. Karina Scomazzoni, L. Profs Moutinho, N.S. Matsuda & C. Pakulski.

We will contact you again as soon as we receive the reviewers comments.

We thank you very much for choosing our journal as your publishing medium.

Yours sincerely,

Isabel Rábano  
Editor, Revista Española de Micropaleontología

CORREO ELECTRÓNICO

i.rabano@igme.es  
www.igme.es

MUSEO GEOMINERO  
RÍOS ROSAS, 23  
28003-MADRID  
TFNO: 91 349 5819  
FAX: 91 349 5830





## Revista Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 01 de fevereiro de 2008

Ilmo. Sra.  
Bióloga Sara Nascimento  
N/Universidade

Prezada colega  
Acusamos o recebimento do trabalho intitulado *Conodont Biostratigraphy and Paleocology of a Lower Pennsylvanian Marine Calcareous Profile - Itaituba Formation, Southern Region of Amazonas Basin*, de autoria de S. Nascimento, A. K. Scomazzon, V.B.Lemos, L.P.Mousinho, N.S. Matsuda para ser submetido à publicação neste periódico.

Atenciosamente

  
Maria do Carmo Lima e Cunha

Editora Adjunta

Revista Pesquisas em Geociências  
Instituto de Geociências  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
pesquisas@ufrgs.br



## Revista Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 25 de junho de 2008

Ilma.Sra.  
Sara Nascimento  
Programa de Pós-graduação em Geociências  
N/U

Prezada colega  
Acusamos o recebimento do trabalho intitulado "*Biochronostratigraphy (Conodonts and Palinology) from the Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin*" de autoria de Nascimento, S.; Smaniotto, L. P.; Souza, P. A.; Lemos, V.B. & Scomazzon, A.K., para ser submetido à publicação neste periódico.

Atenciosamente

  
Maria do Carmo Lima e Cunha

Editora Adjunta

Revista Pesquisas em Geociências  
Instituto de Geociências  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
pesquisas@ufrgs.br

Anexo B - Artigos publicados em revistas científicas

# Revista Brasileira de Paleontologia

Volume 8 Número 3

Setembro/Dezembro – 2005

ISSN 1519 – 7530

Diagenetic pattern of vertebrate fossils from the Traversodontidae Biozone, Santa Maria Formation (Triassic), southern Brazil

Dinâmica de fundo da enseada do Flamengo, Ubatuba, Brasil, inferida a partir da distribuição espacial, morfometria e tafonomia de foraminíferos

Conodont biostratigraphy of the Lower Itaituba Formation (Atokan, Pennsylvanian), Amazonas Basin, Brazil

*Diplognathodus* occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil

Early Silurian chitinozoans in the Apucarana Sub-Basin (Paraná Basin), south Brazil, and their biostratigraphic provenance

*Protocyon troglodytes* (Lund) (Mammalia, Carnivora) in the late Pleistocene of Rio Grande do Sul and their paleoecological significance

The taxonomic status of *Stahleckeria impotens* (Therapsida, Dicynodontia): redescription and discussion of its phylogenetic position

Os equinóides *Pygorhynchus colombianus* (Cooke, 1955) e *Pseudholaster altiusculus* (White, 1887) no Neolábano da bacia de Sergipe, Brasil

New Pleistocene vertebrate fauna from El Salvador



CONODONT BIOSTRATIGRAPHY OF THE LOWER ITAITUBA  
FORMATION, (ATOKAN, PENNSYLVANIAN), AMAZONAS BASIN,  
BRAZIL

SARA NASCIMENTO, ANA KARINA SCOMAZZON, LUCIANE PROFS  
MOUTINHO

PPGGEO, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91509-900, Porto Alegre, RS,  
Brasil. [sara.nascimento@ufrgs.br](mailto:sara.nascimento@ufrgs.br)

VALESCA BRASIL LEMOS

IGEO, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil.  
[valesca.lemos@ufrgs.br](mailto:valesca.lemos@ufrgs.br)

NILO S. MATSUDA

PETROBRÁS, Av. República do Chile, 65, 20031-912, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.  
[nilo@petrobras.com.br](mailto:nilo@petrobras.com.br)

**ABSTRACT** – This study reports on the conodonts from an outcrop region in the south Amazonas Basin that comprises the lower part of the Itaituba Formation. The studied area consists of two limestone quarries, informally named 1 and 2, owned by CAIMA, a cement industry. The conodont association includes Pa elements of *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus roundyi*, *N. medadulimus*, *N. bassleri*, *N. atokaensis*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, and *Idioprioniodus* sp. It is herein proposed one informal taxon-range zone and one subzone, respectively: *Idiognathoides sinuatus* zone and *Neognathodus roundyi* subzone. The conodonts occur mainly in the packstones, and subordinately in the wackestones and mudstones. The Itaituba Formation is the richest interval containing normal marine organisms in the Pennsylvanian of Amazonas Basin. The associated fauna includes brachiopods, crinoids, echinoids, bryozoans, gastropods, foraminifers, sponges, ostracodes, trilobites, scolecodonts, bivalves and fish teeth and scales. The studied interval is characterized by moderate to high levels of bioturbation. Burrows are common in the packstones and wackestones. The predominant trace fossil observed was classified as *Thalassinoides*, occurring mainly in the packstones and wackstones. *Zoophycos* occurs less commonly, in the mudstones and packstones. Because of the presence at the conodonts *Neognathodus atokaensis* and *Idiognathodus incurvus*, it is possible to suggest an Atokan age for the analyzed interval. The associated fauna, bioturbation, and lithology suggests shallow, nearshore waters, with mudstones of low-energy, wackestones and packstones of moderate-energy, and grainstones of relatively high-energy marine conditions.

**Key words:** Conodonts, Morrowan, Atokan, Amazonas Basin, biostratigraphy.

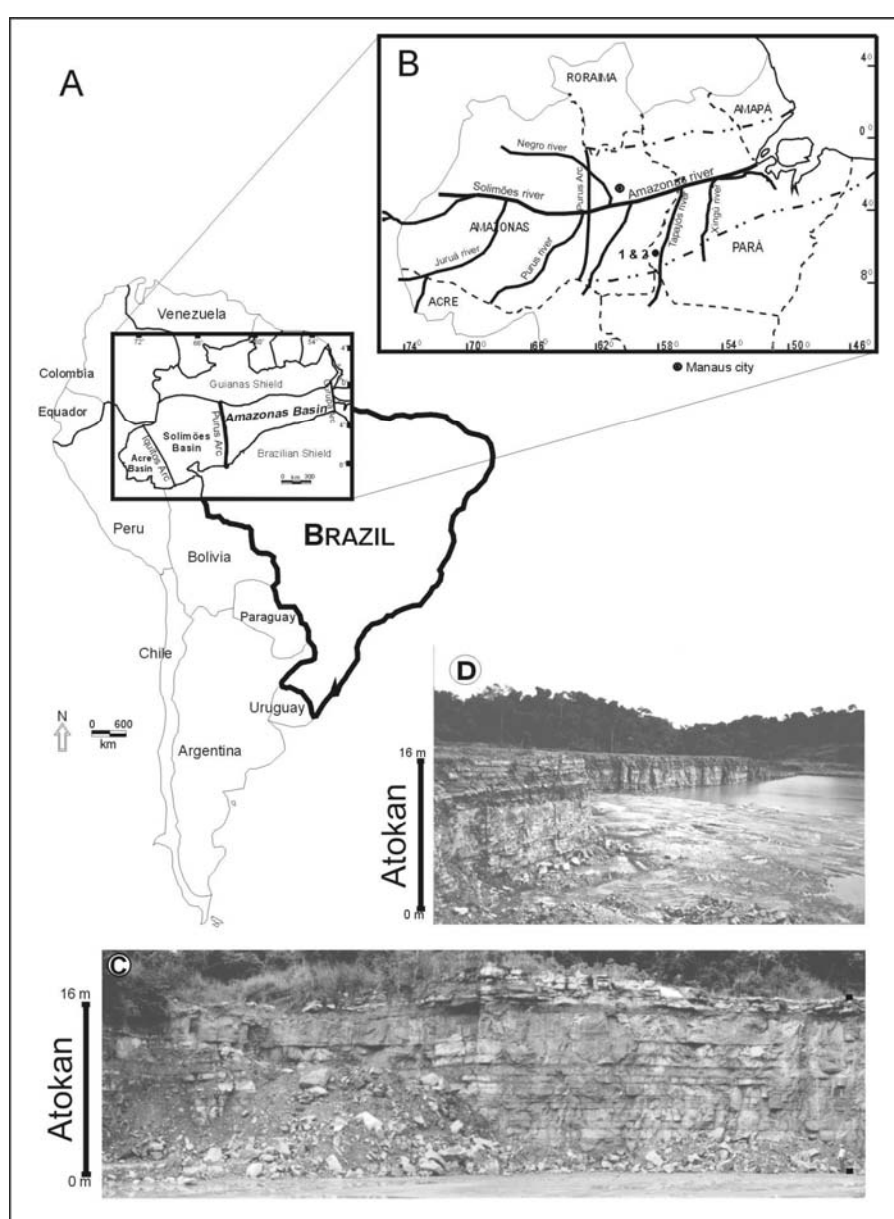
**RESUMO** – Este estudo tem por objetivo analisar a fauna de conodontes na região sul da Bacia do Amazonas, compreendendo a porção mais inferior da Formação Itaituba e, através desses organismos, refinar a idade sugerida para este intervalo, discutindo o limite Morrowano-Atokano nesta região. A área de estudo é representada por duas pedreiras de calcário, denominadas informalmente como 1 e 2, exploradas pela indústria de cimento CAIMA. Dentre os conodontes encontrados estão: *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus roundyi*, *N. atokaensis*,

*N. medadultimus*, *N. bassleri*, *Diplognathodus coloradoensis*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus* e *Idioproniodus* sp. Foi aqui informalmente proposta uma zona de ocorrência de *Idiognathoides sinuatus* e uma subzona de ocorrência de *Neognathodus roundyi*. Os conodontes ocorrem predominantemente nos *packstones* e secundariamente nos *wackstones* e *mudstones*. A Formação Itaituba é o intervalo mais abundante em fósseis do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, com espessos pacotes de carbonatos marinhos ricos em organismos de fauna marinha normal, sendo composta por braquiópodes, gastrópodes, crinóides, briozoários, foraminíferos, ostracodes, trilobitas, escolecodontes, dentes de peixes e fragmentos orgânicos. O intervalo estudado é caracterizado por níveis de moderada a alta bioturbação. As bioturbações são freqüentes nos *packstones* e *wackstones*. O traço fóssil predominante foi classificado como icnogênero *Thalassinoides*, ocorrendo principalmente nos *packstones* e *wackstones* e *Zoophycos*, ocorrendo secundariamente em *mudstones* e *packstones*. Os conodontes estudados, principalmente *Neognathodus atokaensis* e *Idiognathodus incurvus*, sugerem uma idade Atokana para o intervalo analisado. Além disso, a fauna associada, bioturbação e caracteres litológicos descritos, atestam um ambiente de água rasa, proximal, com *mudstones* de energia baixa, *wackstones* e *packstones* de energia moderada e *grainstones* de energia relativamente alta.

**Palavras-chave:** Conodontes, Morrowano, Atokano, Bacia do Amazonas, bioestratigrafia.

## INTRODUCTION

The Pennsylvanian Itaituba Formation has the thickest marine carbonate deposits and the richest preservation of marine organisms of the Amazonas Basin. This formation has been intensively studied in terms of its sedimentary deposits and fossil constituents. The study area is located in the Amazonas Basin, northern Brazil. It comprises two calcareous quarries situated 30 km of Itaituba city, corresponding to the map locations 1 and 2 (Figure 1).



**Figure 1.** Collecting site map. **A.** Location map of the Amazonas Basin, northern region of Brazil. **B.** Location map of quarry 1 and 2. **C.** Photograph of quarry 1. **D.** Photograph of quarry 2. (Modified from Scmazzon, 1999).

Preliminary studies regarding the fossil assemblages were undertaken to determine the systematic classification, the biostratigraphic range and correlation of the conodont group (Lemos, 1990; Lemos & Medeiros, 1996; Scomazzon, 1999, among others).

This work aims to describe the conodonts and associated fauna of two calcareous quarries in the lower part of the Itaituba Formation, Pennsylvanian of the Amazonas Basin. The studied conodonts are characteristic of the early Pennsylvanian, Morrowan and Atokan stages and have been used to biostratigraphically refine the Carboniferous of the Amazonas Basin. The study involves the establishment of one informal biostratigraphic taxon-range zone and one subzone, and determination of the paleoecological conditions in which these microfossils were deposited.

### ***MATERIALS AND METHODS***

Seventy-five samples, totalling thirty-seven kg of rocks, mainly carbonates, were processed for the study of conodonts. The laboratory techniques followed the methodology of Austin (1987).

In addition, 15 carbonates thin-sections from quarry 1 and 12 thin-sections from quarry 2 were prepared. From the thin-sections the associated fauna was described and examples photographed in the Laboratory of Paleontology at UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). The conodonts presented in this study belong to the collection of the Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, UFRGS (MP-M).

### ***GEOLOGIC SETTING***

The Amazonas Basin is a large intracratonic sedimentary basin occupying 500,000 km<sup>2</sup> within the northern Brazilian states of Amazonas and Pará. Its strata cover the Precambrian provinces of the Guyanas Shield to the north and the Guaporé Shield to the south. To the east, it is separated from the Marajó Basin by the Gurupá Arch. To the west, is separated from Solimões Basin by a subsurface basement-high, the N-S trending Purus Arch. In its depocenter, the basin preserves a stratigraphic



record up to 5,000 m thick deposited from Proterozoic through Tertiary time. The Carboniferous-Permian strata accounts for more than half of the total thickness (Milani & Zalán, 1998).

In structural and depositional terms, the Amazonas Basin is divisible into three distinct sectors, a northern platform, a southern platform, and a deep central basin area. These trend generally east-west, and evolved geologically for 500 Ma. Along both the northern and southern boundaries of the basin are outcrops of Paleozoic rock.

The stratigraphic framework of the Amazonas Basin includes three Paleozoic units covered by Cretaceous to Recent continental clastics (Cunha *et al.*, 1994): the Ordovician – Devonian Unit, Devonian – Mississippian Unit, and Pennsylvanian – Permian Unit. The latter unit accumulated following intense erosion caused by the early Hercynian Orogenic episode. It represents a transgressive to regressive cycle from the Pennsylvanian through the Permian time associated with significant climatic changes from cold to warm and arid (Scotese & Mckerrow, 1990). This cycle corresponds to the rocks of the Tapajós Group, which consists of four conformable formations, in ascending order the Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda and Andirá formations (Cunha *et al.*, 1994).

The Itaituba Formation overlies the Monte Alegre Formation. The Monte Alegre is considered to be late Morrowan-Atokan in age. The Itaituba varies from 110 m thick in the southern outcrop area to 420 m thick in the central part of the basin. The dominant lithologies include mainly intercalated carbonates and evaporates, and secondarily, clastics. A diverse marine fauna with Andean and U.S. Midcontinent affinities characterizes the carbonate units, and are the richest known from the Amazonas Basin. Groups represented include foraminifers, corals, bryozoans, crinoids, trilobites, ostracodes, gastropods, brachiopods, scolecodonts, fish remains and conodonts. Shale and siltstone beds often contain crustaceans and plants indicative of episodic freshwater deposition and are interpreted as shallow marine subtidal to supratidal environments. The Itaituba Formation is overlaid conformably by the Nova Olinda Formation of Atokan-early Desmoinesian age.

Age estimations of the Itaituba Formation have been based on microfossil assemblages, including spores and pollen (Playford & Dino, 2000), fusulinids (Altiner & Savini, 1995), and conodonts (Lemos, 1990, 1992a, b; Neis, 1996, Scomazzon, 1999), but they are controversial.

### CONODONT BIOSTRATIGRAPHIC ANALYSIS

The first discussion of the conodont biostratigraphy in the Amazonas Basin based on multielement taxonomy was made by Lemos (1990, 1992a,b), followed by Lemos & Medeiros (1996), Neis (1996), Scomazzon (1999), and Lemos & Scomazzon (2001), each analyzing different areas in the Amazonas region.

Lemos (1990) described three assemblage zones: 1) *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathus muricatus*; 2) *Diplognathodus orphanus/Diplognathodus coloradoensis*; 3) *Streptognathodus elongatus/Idiognathodus ellisoni*. The first zone contains *R. muricatus* and *N. symmetricus* which are characteristic of early Morrowan age. These species occur in the Monte Alegre Formation and lower part of the Itaituba Formation. The second zone contains *D. orphanus*, which is typical of the Atokan, and *Diplognathodus coloradoensis*, typical of the early Desmoinesian, and were recovered from the middle part of the Itaituba Formation. The third zone is characterized by *S. elongatus* and *I. ellisoni*, which were interpreted to be of Middle-Late Pennsylvanian age, recovered from the Nova Olinda Formation.

Neis (1996) suggested two zones: 1) *Idiognathoides ouachitensis/Rhachistognathus muricatus*; 2) *Diplognathodus* spp. The first zone is typical of Morrowan age rocks, with *Rhachistognathus muricatus* and *Idiognathoides ouachitensis*. The second zone, with *Diplognathodus* suggests an Atokan age. The conodont associations studied by Neis (1996) suggest a late Morrowan to middle Atokan age for this interval in the Itaituba Formation.

Scomazzon (1999), who also studied the Itaituba Formation, suggested three interval zones: 1) *Idiognathodus sinuosus/Rhachistognathus muricatus* - late Morrowan; 2) *Idiognathodus klapperi/Streptognathodus parvus* - late Morrowan-Atokan; 3) *Idiognathodus claviformis/Idiognathodus incurvus* - early Desmoinesian.

Lemos & Scomazzon (2001) redesignated the third zone of Lemos (1990), formerly the *Streptognathodus elongatus/Idiognathodus ellisoni* zone, as the *Idiognathodus claviformis/Idiognathodus incurvus* zone.

The conodont fauna analyzed herein comprises twenty-four specimens collected from quarry 1 (Table 1), and eighty-two specimens from the quarry 2 (Table 2), totalling one-hundred and six specimens assigned to seven genera and ten species. The fauna is dominated by Pa elements of *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides*

*sinuatus* and *Neognathodus* spp., and to a lesser extent by *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus* and *Idioprioniodus* sp. (Fig. 2). The conodonts were recovered from the upper part of quarry 1 and the lower part of quarry 2. *Idiognathoides sinuatus* and *Idiognathodus incurvus* are the most abundant in quarry 1. *Neognathodus* spp. appears only in the quarry 2. *Idiognathodus incurvus* and *Neognathodus* spp. are the most common conodonts in quarry 2.

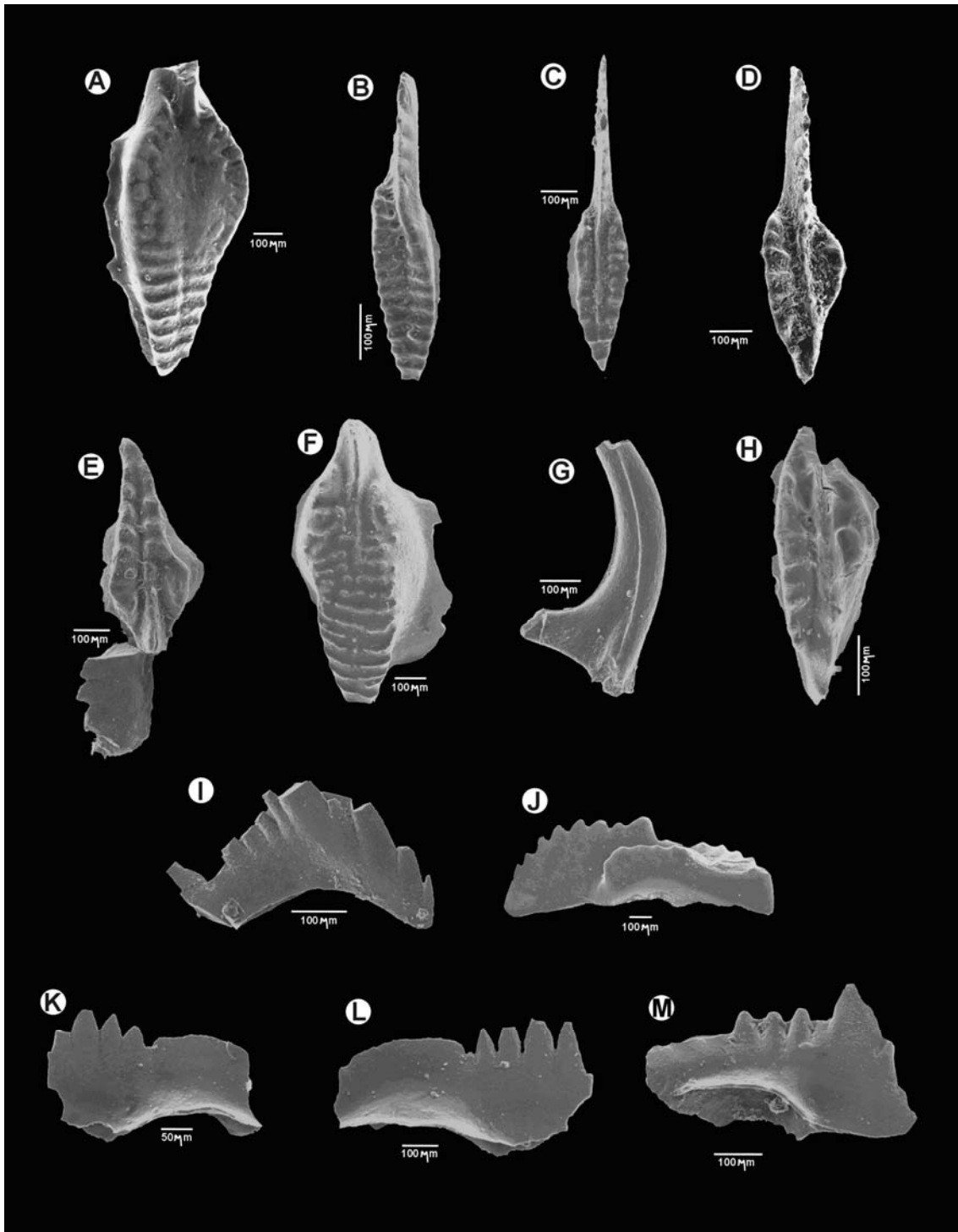
SAMPLE	CONODONT	ASSOCIATED FAUNA	LITHOLOGY
P1 430 C9b	<i>Idiognathodus incurvus</i> (4) <i>Idioprioniodus</i> sp. (1) <i>Idiognathoides sinuatus</i> (6) <i>Hindeodus minutus</i> (1)	Fish teeth and bryozoans	Bioclastic packstone
P1 840 C16	<i>Idiognathoides sinuatus</i> (2)	Fish teeth, scolecodonts, brachiopods and crinoids	Bioclastic packstone
P1 925 C19	<i>Adetognathus lautus</i> (3) <i>Diplognathodus coloradoensis</i> (20)	Fish teeth, scolecodonts, sponges	Dolomite
P1 950 C20	<i>Idiognathodus incurvus</i> (1)	Scales and fish teeth, scolecodonts, brachiopods	Mudstone
P1 1000 C21	<i>Idiognathoides sinuatus</i> (1)	Fish teeth, scolecodonts, brachiopods, crinoids,	Dolomite
P1 1035 C22	<i>Idiognathodus incurvus</i> (2)	Scolecodonts	Dolomite
P1 1570 C29	<i>Idiognathoides sinuatus</i> (1)	Fish teeth	Bioclastic wackestone/ packstone

**Table 1** – Conodont distribution in quarry 1.

SAMPLE	CONODONTS	ASSOCIATED FAUNA	LITHOLOGY
P2 0 C0	<i>Adetognathus lautus</i> (1) <i>Neognathodus roundyi</i> (2)	Fish teeth, crinoids and organic fragments	Mudstone
P2 10 C1	<i>Neognathodus fragment</i> (1) <i>Idiognathodus incurvus</i> (10) <i>Idiognathoides sinuatus</i> (1) <i>Neognathodus roundyi</i> (3) <i>Neognathodus atokaensis</i> (2) <i>Neognathodus medadultimus</i> (5)	Scales, Fish teeth and organics fragments	Bioclastic packstone
P2 30 C2	<i>Neognathodus roundyi</i> (6) <i>Hindeodus minutus</i> (3) <i>Idiognathodus incurvus</i> (10) <i>Idiognathoides sinuatus</i> (2)	Bryozoans and organic fragments	Bioclastic packstone
P2 71 C3/6	<i>Idiognathodus incurvus</i> (1)	Fish teeth and organic fragments	Bioclastic wackestone
P2 160 C10	<i>Idiognathoides sinuatus</i> (12) <i>Idiognathodus incurvus</i> (2)	Scolecodonts, scales, fish teeth, brachiopods,	Bioclastic wackestone/pack

		crinoids and sponges	stone
P2 415 C25	<i>Idiognathodus incurvus</i> (3) <i>Idiognathoides sinuatus</i> (7)	Brachiopods, fish teeth, sponges and crinoids	Bioclastic packstone
P2 600 C34	<i>Idiognathodus incurvus</i> (1)		Mudstone
P2 800 C37	<i>Idiognathoides sinuatus</i> (1)		Mudstone
P2 1120 C46	<i>Idiognathodus incurvus</i> (3) <i>Idiognathoides sinuatus</i> (1)	Crinoids, brachiopods, scales, fish teeth, and bryozoans	Bioclastic packstone
P2 1480 C53	<i>Neognathodus bassleri</i> (2) <i>Idiognathodus incurvus</i> (2) <i>Idiognathoides sinuatus</i> (1)	Crinoids, fish teeth, scolecodonts and brachiopods	Bioclastic packstone

**Table 2** – Conodont distribution in quarry 2.



**Figure 2.** Figs. A-F, H oral view. Figs. G, I-M lateral view. All hypotypes.

**A.** MP-M-661 *Idiognathodus incurvus* (P2 30C2); **B.** MP-M-680 *Idiognathoides sinuatus* (P2 160 C10); **C.** MP-M-648 *Idiognathodus incurvus* (P2160 C10); **D.** MP-M-700 *Neognathodus roundyi* (P2 30 C2); **E.** MP-M-676 *Neognathodus roundyi* (P2 30 C2); **F.** MP-M-699 *Idiognathodus incurvus* (P2 30C2); **G.** MP-M-701 *Idioproniodus* sp. (P2 430 C9b); **H.** MP-M-702 *Neognathodus roundyi* (P2 30 C2); **I.** MP-M-685 *Hindeodus minutus* (P2 30 C2); **J.** MP-M-703 *Adetognathus lautus* (P1 925 C 19); **K.** MP-M-688 *Diplognathodus coloradoensis* (P1 925 C19); **L.** MP-M-687 *Diplognathodus coloradoensis* (P1 925 C 19); **M.** MP-M-704 *Hindeodus minutus* (P1 925 C19).

## ZONATION

It is herein proposed one informal taxon-range zone and one subzone, respectively: *Idiognathoides sinuatus* zone and *Neognathodus roundyi* subzone.

### ***Idiognathoides sinuatus* Zone**

The *Idiognathoides sinuatus* zone extends from the lower part of quarry 1 to the upper part of the quarry 2, and is recognized by the occurrence of *I. sinuatus*. The associated fauna comprises abundant *Idiognathodus incurvus* and *Neognathodus* spp., and less common *Diplognathodus coloradoensis*, *Idioproniodus* sp., *Hindeodus minutus* and *Adetognathus lautus* (Figure 3).

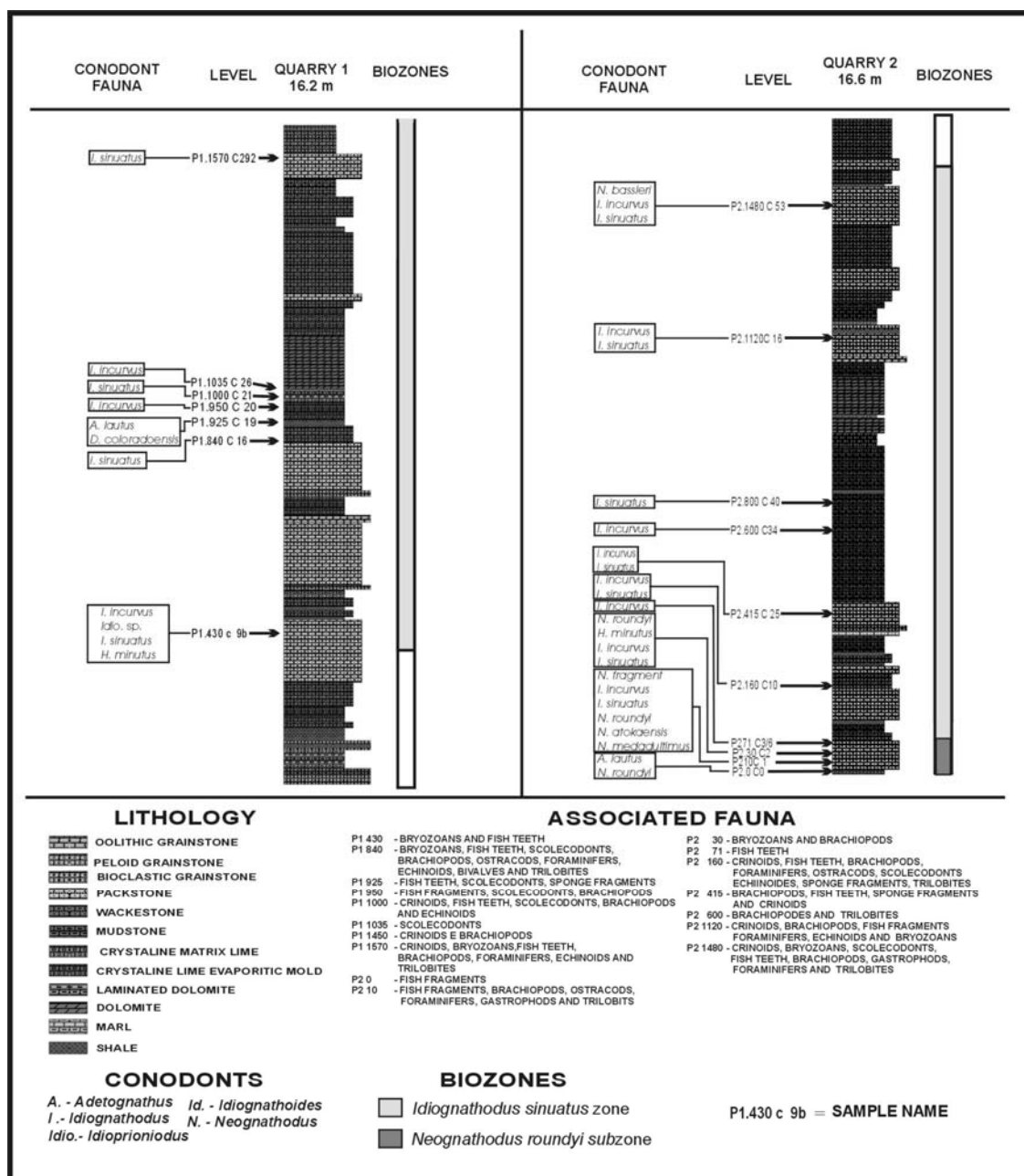


Figure 3 - Profiles of the two quarries. (Modified from Matsuda, 2003).

According to Manger & Sutherland (1984), *I. sinuatus* is characteristic of the Morrowan age, although it ranges into the Atokan. *Idiognathoides sinuatus* is very common in both quarries 1 and 2, totalling thirty-five specimens. The occurrence of *I. sinuatus* might suggest a Morrowan age for this interval, but the presence of *I. incurvus* in the lower strata of quarry 1 indicates an Atokan age. *Idiognathodus incurvus* is an excellent Atokan index for the Atokan and is abundant in both quarries. It is not recommended as a zone marker here because many specimens are probably juveniles. According to Merrill & von Bitter (1976), *D. coloradoensis* occurs from Morrowan to

early Desmoinesian, being typical of late Atokan. Two specimens of *D. coloradoensis* were found near the top of quarry 1.

### ***Neognathodus roundyi* Subzone**

The *Neognathodus roundyi* subzone is recognized by the local occurrence of this species in the basal portion of quarry 2. This subzone contains *Neognathodus medadultimus* and *N. atokaensis*. The conodont fauna is characterized by *N. roundyi*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus incurvus*, *Hindeodus minutus* and *Adetognathus lautus*.

Grayson & Lambert (1987) suggest that *Neognathodus* is the most important conodont genus for biostratigraphy of Early-Middle Pennsylvanian strata. *Neognathodus* is abundant in quarry 2, where 21 specimens were collected. *Neognathodus atokaensis*, considered an index fossil for the Atokan, was collected in the lower part of quarry 2.

Manger & Sutherland (1984), working the biostratigraphy of the Morrowan - Atokan boundary in Texas, studied an assemblage composed mainly of *N. medadultimus* and *N. roundyi*. They suggest an Atokan-early Desmoinesian age for the strata studied. The same species were observed in quarry 2, with *N. roundyi* most abundant in the lower portion of quarry 2, from which we named the zone.

According to the presence of *N. atokaensis*, *N. medadultimus* and *N. roundyi*, the former species restricted to Atokan age and the latter two typical of the Atokan-early Desmoinesian age, it is possible to suggest an Atokan age to the lower part of quarry 2, which includes the *N. roundyi* zone.

## **PALEOENVIRONMENTAL ANALYSIS**

The two quarries are mainly composed of interbedded fossiliferous carbonates, subordinate shales and nodular anhydrite. To complement the paleoecological interpretations, thin-sections were made of the fossiliferous carbonates sampled for conodonts. Based on field descriptions and petrographic studies, it was possible to define three distinct environments within the interval analyzed. These environments are mainly characterized by differences in water energy, depth, consistency of the substrate and faunal composition.



**Supratidal environment**

Represented by recrystallized mudstones of low energy, originally from micritic muds and frequently showing detrital quartz and evidence of subaerial exposure, characterized by desiccation cracks and dissolution features with anhydrite and gypsum. Bioclasts are rare and represented by sparse fragments of fibrous brachiopods, ostracodes and trilobites. Dolomitization was intense.

**Intertidal environment**

Represented by moderate to high energy grainstones. Peloidal Grainstone are composed of pellets, crinoids and fusulinacean foraminifers. This microfacies characterizes moderate energy conditions. Bioclastic grainstones are composed of fragmented organisms such as fibrous brachiopods, bryozoans, foraminifers, ostracodes, trilobites, crinoids and echinoids; sparse ooids and pellets can be found. Bioturbation and sparry cement are common features. This microfacies characterizes high energy conditions. Oolitic grainstones are composed of non-skeletal, allochthonous components, generally quartz grains with micritic envelopes. Sparry cement is commonly present. Rare oncoids with crinoidal nuclei and pellets can be found, and bioturbation is common. These microfacies characterize high energy conditions.

**Subtidal environment**

Represented by bioclastic wackestones and packstones. These microfacies represent normal marine bottom conditions and are composed of bioclasts from a normal marine fauna. Mudstones with gastropods correspond to a restricted microfacies and is composed of bioclasts of gastropods floating in a micritic matrix. Secondly ostracodes, foraminifers, brachiopods and crinoids are present. Bioclasts do not show preferential orientation. This microfacies suggests a muddy low energy depositional environment, probably in a back shoal. Bioclastic wackestones are composed of bioclasts from normal marine fauna, such as fibrous and prismatic brachiopods, crinoids, echinoids, bivalves, bryozoans, foraminifers, trilobites and ostracodes. Bioturbation is common. Bioclastic packstones are the most common texture of the carbonates deposited during the Pennsylvanian in the Amazonas Basin. The bioclastic constituents represent a normal marine fauna, including brachiopods, crinoids, echinoids, bivalves, bryozoans, foraminifers, trilobites and ostracodes. Bioturbation is common. The orientation of the bioclasts suggests that these sediments

were deposited in settings affected by normal waves, under some energetic conditions, but insufficient to remove the matrix, which suggests a subtidal environment.

### **The Conodonts**

The conodont fauna characterized by *Idiognathodus*, *Idiognathoides* and *Neognathodus* occurs widely in both quarries in the bioclastic packstones of the subtidal environment.

Davis & Webster (1985) studied biofacies represented by *Idiognathodus*, *Idiognathoides* and *Declinognathodus*, and suggested that these conodonts represent shallow marine, subtidal deposits with muddy substrate, low to moderate energy and normal salinity. *Neognathodus* biofacies generally represent lagoon deposits characterized by calcareous mudstones and common co-occurrence with *Adetognathus* or with *Idiognathodus* in shallow waters. *Adetognathus* biofacies typically represent more shallow waters of intertidal to lagoon deposits, characterized by moderate to high energy and high salinity conditions.

According to Dunn (1976), *Diplognathodus coloradoensis* is usually common in shallow marine waters, with relatively high energy conditions. Elements of *D. coloradoensis* were found in only one level of quarry 1, associated with *Adetognathus lautus*.

In quarry 1, the predominant occurrence of bioclastic packstones and *Idiognathodus* and *Idiognathoides* suggest an environment of shallow waters with low to moderate energy, which grades to more shallow and moderate to high energy in the lower part of quarry 2 with the presence of *Neognathodus* associated with *Adetognathus*. The presence of *Idiognathodus* and *Idiognathoides* through the lower to upper levels of the quarry 2 suggests a return of shallow water with low to moderate energy conditions.

According to some authors (Merrill & von Bitter, 1976) *Hindeodus* and *Idioprioniodus* are more abundant in deep waters. *Idioprioniodus* was rare in the basal strata of quarry 1, and absent in the quarry 2. *Hindeodus* is also rare in both quarries, suggesting that the studied interval represents shallow waters.

Thus, according to field description, facies analyses, environmental characteristics and conodont fauna, we suggest a general transgressive episode through quarry 1, grading to a regressive episode in the lower part of quarry 2, which shifted to transgressive deposits through the rest of quarry 2.

### **The associated fauna**

The Itaituba Formation is the richest interval containing normal marine organisms in the Pennsylvanian of Amazonas Basin. The associated fauna in the studied quarries contain brachiopods, crinoids, echinoids, bryozoans, gastropods, foraminifers, sponges, ostracodes, trilobites, scolecodonts, bivalves and teeth fish fragments. The brachiopods are the most abundant group, represented mainly by the Productida Order. Secondarily abundant are fish teeth and scales, mainly actinopterygians of the Paleonisciforms Order. In the studied material specimens of the Acanthodii and Chondrichthyes Classes (identified by Dr. Martha Richter, an expert in fossil fish) were recovered.

The associated fauna represents normal marine bottom conditions, with relatively shallow, quiet and warm waters, and muddy substrate suggesting subtidal environmental deposition. The occurrence of fragmented organic material in the lower levels of quarry 2 (P2 0 C0, P2 10 C1, P2 30 C2 and P2 71 C3/6) suggest possible reworking by currents and/or bioturbation in moderate energy conditions. The presence of bryozoans, crinoids and brachiopods indicates good oxygenation and abundance of nutrients.

The material studied is characterized by moderate to high levels of bioturbation. Burrows are frequent in packstones and wackestones. The predominant trace fossil observed was classified as the ichnogenus *Thalassinoides*. Trilobites are associated in general with the bioturbation of the sediment, but the probable trace-maker was a general shrimp-like animal, adapted to live in environments with variable levels of oxygenation and salinity. *Zoophycos* is the second ichnogenus described, occurring mainly in mudstones and secondarily in packstones.

According to Doyle *et al.* (1994), the distribution of *Thalassinoides* ranges from intertidal to supratidal, low to moderate energy, nutrient-rich and dysaerobic settings, while *Zoophycos* is restricted to subtidal low energy, disaerobic and soft substrate environments.

## **CONCLUSIONS**

Conodonts from the two quarries comprising strata of the lower Itaituba Formation, Amazonas Basin, were studied to refine the suggested age of this area and to

interpret the paleoecological features observed. Conodonts are characterized by Pa elements of *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus incurvus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *Hindeodus minutus*, *Idioproniodus* sp. and *Adetognathus lautus* in quarry 1, and *I. sinuatus*, *I. incurvus*, *Neognathodus roundyi*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *N. bassleri*, *H. minutus* and *A. lautus* in quarry 2.

*Idiognathodus*, *Idiognathoides* and *Neognathodus* are the most abundant genera. In the carbonates of quarry 1, *Idiognathodus* and *Idiognathoides* are equally represented, followed by rarer *Idioproniodus*, *Diplognathodus*, *Hindeodus* and *Adetognathus*.

In quarry 2 *Idiognathodus* and *Idiognathoides* were recovered in great abundance, and the first appearance of *Neognathodus* is in the basal strata of this quarry, with *N. atokaensis* typical of Atokan age and *N. medadultimus* and *N. roundyi*, typical of Atokan-early Desmoinesian age. Conodonts were mainly found in the packstones and secondarily in wackestones and mudstones.

One taxon-range zone and one subzone are informally proposed: *Idiognathoides sinuatus* zone, and *Neognathodus roundyi* subzone. The *I. sinuatus* zone extends from the lower part of the quarry 1 to the upper part of quarry 2, and recognized by the local occurrence of the nominate species. The conodont fauna comprises the index species *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus incurvus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *Idioproniodus* sp., *Hindeodus minutus* and *Adetognathus lautus*. The *N. roundyi* subzone is recognized by the local occurrence of *N. roundyi* in the lower part of quarry 2. The conodont fauna is characterized by *N. roundyi*, *N. medadultimus*, *N. atokaensis*, *I. sinuatus*, *I. incurvus*, *H. minutus* and *A. lautus*.

The Itaituba Formation is the richest interval containing normal marine organisms in the Pennsylvanian of the Amazonas Basin. The associated fauna contains brachiopods, crinoids, echinoids, bryozoans, gastropods, foraminifers, sponges, ostracodes, trilobites, scolecodonts, bivalves and fish teeth and scales. The presence in both quarries of the assigned organisms suggests good bottom conditions as warm and clean waters. The conodonts, associated fauna and facies analysis suggest relatively shallow, quiet and warm waters, with muddy substrates in a subtidal setting. At a larger depositional scale, a general transgressive-regressive-transgressive episode, characterizes these Atokan age deposits.

### **ACKNOWLEDGMENTS**

We are grateful to José Emidio and Paulo Rubens (CAIMA Cement Ind.) for permitting access to quarry localities. We thank to Martha Richter (BMNH) for discussion about fossil fish biostratigraphy and taxonomy. We also thank the support of Carlos E. L. Vieira with the preparation of the figures. We also appreciate the journal editors and the referee's improvements to this paper. The research was supported by CNPq-CTPETRO (grant 461082/2000-4).

### **REFERENCES**

- Altiner, D. & Savini, R. 1995. Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões Basin (North Brazil). *Revue de Paleobiologie*, **14**(2):417-453.
- Austin, R. L. 1987. Conodonts: investigative techniques and applications. *British Micropaleontological Society Series*, Ellis Horwood, 562p.
- Cunha, P. R. C.; Gonzaga, F. G.; Coutinho, L. F. C. & Feijó, F. J. 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, **8**(1):47-55.
- Davis, L. E.; Webster, G. D. 1985. Late Mississippian to Early Pennsylvanian Conodont Biofacies in Central Montana. *Lethaia*, **18**:67-72.
- Doyle, P.; Bennett, M. R. & Baxter, A. N. 1994. *The Key to Earth History*. 1<sup>a</sup> ed. Chichester, John Wiley & Sons, 231p.
- Dunn, D. L. 1976. Biostratigraphic problems of Morrowan and Derryan (Atokan) strata in the Pennsylvanian System of western United States. *Geological Society of America Bulletin*, **87**:641-645.
- Grayson, R. C. Jr. & Lambert, L. L. 1987. Evolutionary distinction between Atokan and Desmoinesian (Pennsylvanian) *Neognathodus* [abstract]. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, **19**, p. 152.
- Lemos, V. B. 1990. *Assembléia de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas*. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ph.D. Thesis, 259p.
- Lemos, V. B. 1992a. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia - Parte I. *Pesquisas*, **19**(1): 75-93.

- Lemos, V. B. 1992b. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia - Parte II. *Pesquisas*, **19**(2): 120-131.
- Lemos, V. B. & Medeiros, R. A. 1996. O limite Morrowano/Atokano na Bacia do Amazonas, Brasil, com base em conodontes. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **10**: 165-173.
- Lemos, V. B. & Scomazzon, A. K. 2001. Carboniferous biostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil, based on conodonts. Correlação de Sequências Paleozóicas Sul-Americanas, Melo, J. H. G. & Terra, G. S. T. (eds.). *Ciência Técnica Petróleo*. Seção: Exploração de Petróleo, **20**: 131-138.
- Manger, W. I. & Sutherland, P. K. 1984. Preliminary conodont biostratigraphy of the Morrowan-Atokan boundary (Pennsylvanian), eastern Llano Uplift, central Texas. *Oklahoma Geological Survey Bulletin*, **136**: 115-122.
- Matsuda, N. S. 2003. Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite in the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazon Basin, Northern Brazil. Department of Earth & Planetary Sciences, University of Tokyo, Ph.D. Thesis, 231p.
- Merrill, G. K. & vonBitter, P.H. 1976. Revision of conodont biofacies nomenclature and interpretations of environmental controls in pennsylvanian rocks of eastern and central North America. *Royal Ontario Museum, Life Sciences Contributions*, **108**: 1-46.
- Milani, E. J. & Zalán, P. V. 1998. The geology of paleozoic cratonic basins and mesozoic interior rifts of Brazil. (Brazilian Geology Part I). *AAPG International Conference & Exhibition*, 184p.
- Neis, P. A. 1996. *Resultados biocronoestratigráficos das associações de conodontes da Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Master Thesis, 138p.
- Playford, G. B. & Dino, R. 2000. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part one. *Palaeontographica Beitrage Zur Naturgeschichte Der Vorzeit. Abt. B. Bd.*, **255**: 1-46.
- Scomazzon, A. K. 1999. *Refinamento bioestratigráfico com base em conodontes, Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, região do Tapajós*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Master Thesis, 142p.

Scotese, C. R. & Mckerrow, W. S. 1990. Palaeozoic palaeogeography and biogeography. *In*: W.S. Mckerrow & C.R. Scotese (eds.) *Revised World maps and introduction*, Geological Society Memoir, **12**: 1-21.

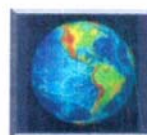
*Anexo C - Resumos expandidos publicados em anais de congressos*

---

**I Semana Acadêmica dos Alunos de Pós-Graduação em Geociências  
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
30 de outubro a 01 de Novembro de 2006  
Auditório do Instituto de Geociências**



**Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação em Geociências**





NASCIMENTO, S.; LEMOS, V. B.; SCOMAZZON, A. K.; MOUTINHO, L. P. Bioestratigrafia de Conodontes na Borda Sul da Bacia do Amazonas, Pará – Brasil. In: SEMANA ACADÊMICA DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 1., 2006, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS, 2006. p. 109-112.

## Bioestratigrafia de Conodontes na Borda Sul da Bacia do Amazonas, Pará – Brasil

Sara NASCIMENTO\*, Valesca Brasil LEMOS,  
Ana Karina SCOMAZZON & Luciane Profs MOUTINHO  
\*aiatha@yahoo.com.br

A Bacia do Amazonas, com 600.000 km<sup>2</sup> de área, é uma bacia do tipo intracratônica, com deposição sedimentar do Cambriano ao Terciário, totalizando 6.000 m de espessura de pacote sedimentar. A sedimentação carbonífera-permiana, aproximadamente 2.000m, relacionada à porção marinha do Grupo Tapajós (Pensilvaniano), contribui com mais da metade dos depósitos sedimentares da bacia. As feições morfo-estruturais mais importantes da bacia correspondem a uma calha central mais subsidente (Silva, 1996), região mais profunda, no centro da bacia e duas áreas de plataforma, as plataformas norte e sul, que são limitadas por zonas de falhas normais.

A Formação Itaituba é o intervalo mais abundante em fósseis do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, com espessos pacotes de carbonatos marinhos ricos em organismos de fauna marinha normal, sendo composta por braquiópodes, gastrópodes, crinóides, briozoários, foraminíferos, ostracodes, trilobitas, escolecodontes, dentes e escamas de peixes e tubarões.

O intervalo estudado é caracterizado por níveis de moderada a alta bioturbação. As bioturbações são freqüentes nos packstones e wackestones.

Estudos anteriores indicam idade Atokana para o intervalo analisado principalmente pela ocorrência de *Neognathodus atokaensis* e *Idiognathodus incurvus*. A fauna associada, as bioturbações, e caracteres litológicos, são também indicadores de ambiente de água rasa, proximal, com mudstones de baixa energia, wackestones e packstones de energia moderada e grainstones de energia relativamente alta.

Estudos preliminares de sistemática e correlação bioestratigráfica para o grupo dos conodontes foram desenvolvidos por alguns pesquisadores. (Lemos, 1992 a,b; Lemos & Medeiros, 1996 a,b; Lemos & Scomazzon, 2001; Scomazzon, 1999, 2004).

Este estudo tem por objetivo analisar conodontes presentes em amostras da borda sul da Bacia do Amazonas (Fig.1), compreendendo sedimentos da porção mais inferior da Formação

Itaituba, na tentativa de refinar a idade sugerida para este intervalo. Será também discutido o limite Morrowano - Atokano nesta região.

A área de estudo é representada por duas pedreiras de calcário, exploradas pela empresa CAIMA – (Indústria de Cimento Monte Alegre).

Dentre os conodontes encontrados estão: *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus roundyi*, *N. atokaensis*, *N. medadulimus*, *N. bassleri*, *Diplognathodus coloradoensis*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, e *Idioproniodus* sp. Uma zona de ocorrência de táxon, *Idiognathoides sinuatus* e uma subzona de ocorrência, de *Neognathodus roundyi* (Fig.2), foram já determinadas. Os conodontes ocorrem predominantemente nos packstones, secundariamente, nos wackestones e mudstones.

### Referências Bibliográficas

- Lemos, V.B.; Medeiros, R.A. 1996a. O Limite Morrowano/Atokano na Bacia do Amazonas, Brasil, com Base em Conodontes. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 10(1-4):165-173.
- Lemos, V.B. 1992a. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia - Parte I. *Pesquisas*, 19(1):75-93.
- Lemos, V.B. 1992b. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. Taxonomia - Parte II. *Pesquisas*, 19(2):120-131.
- Lemos, V.B.; Medeiros, R.A. 1996b. Conodontes do Carbonífero Inferior da Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 10(1-4):55-60.
- Lemos, V.B.; Scomazzon, A.K. 2001. Carboniferous biochronostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil based on conodonts. In: Workshop Correlação de Seqüências Paleozóicas Sul-Americanas, Melo, J.H.G. & Terra, G.S.T. (eds.). *Ciência Técnica Petróleo*. Seção: Exploração de Petróleo, n. 20, p. 131 – 138.
- Scomazzon, A.K. 1999. Refinamento Bioestratigráfico com base em Conodontes, no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas – Região de Tapajós. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-graduação em Geociências. 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. 294 f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

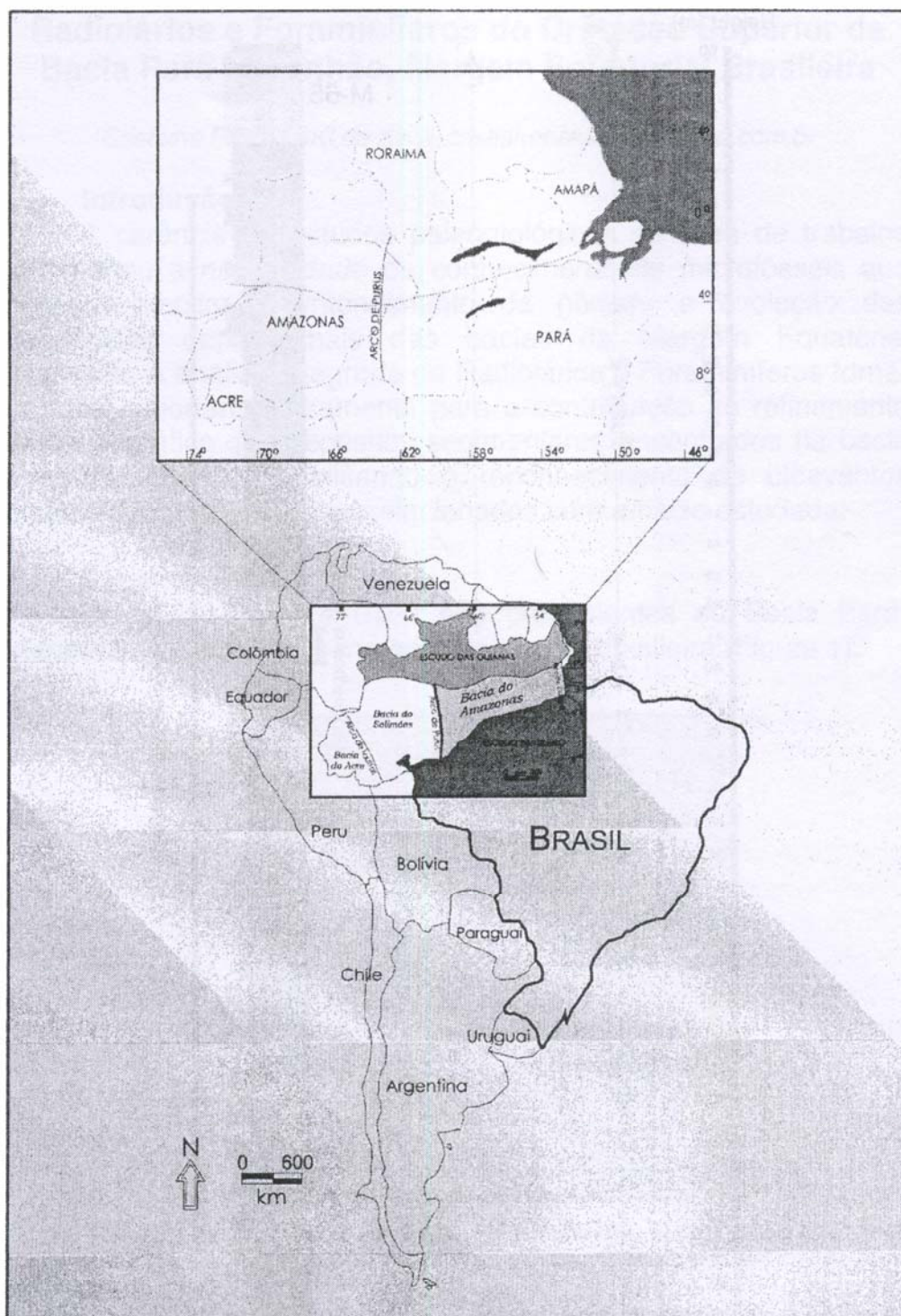


Fig 1. Mapa de localização da Bacia do Amazonas. Na ampliação destacam-se os afloramentos de rochas sedimentares carboníferas existentes nesta bacia. (Modificado de Scomazzon, 1999).

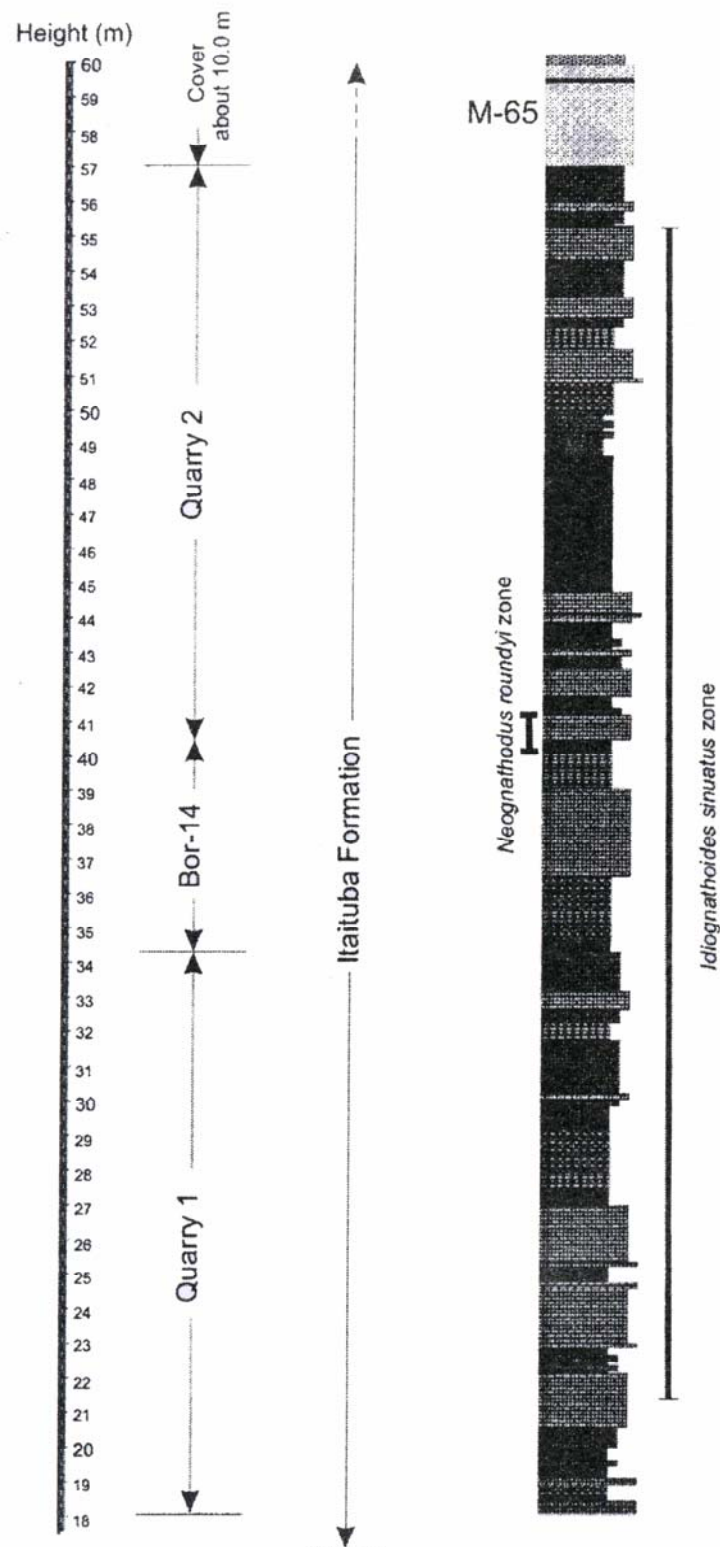
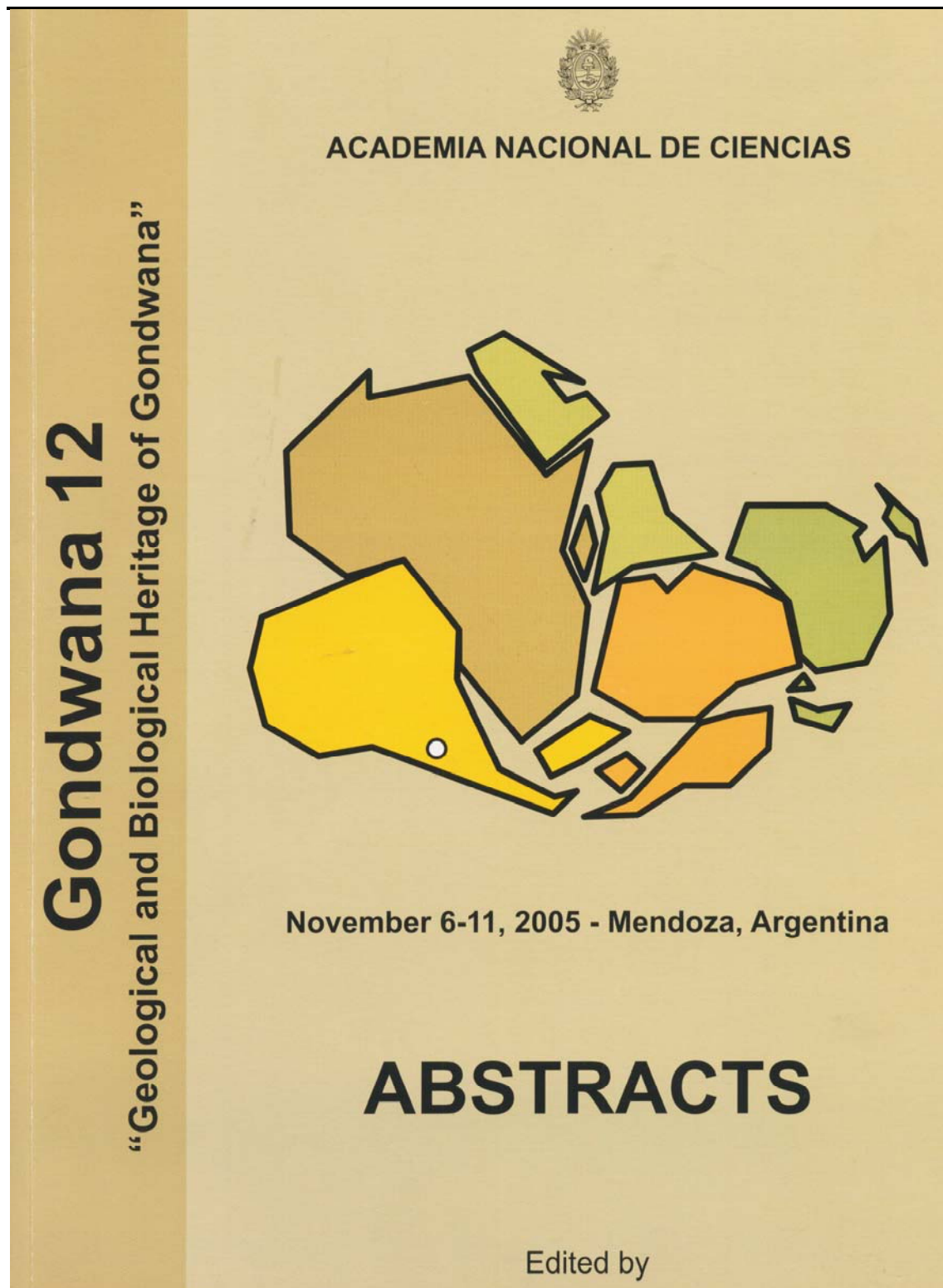


Fig. 2 - Perfil das Pedreiras 1 e 2. Modificado de Moutinho et. al. (submetido).



## Sr and Nd isotopic analysis in fossils and carbonatic rocks of Itaituba and Nova Olinda Formations, Pennsylvanian of Amazonas Basin

A.K. Scomazzon<sup>1</sup>, E. Koester<sup>1</sup>, L. Profs Moutinho<sup>1</sup>, N.S. Matsuda<sup>2</sup>, S. Nascimento<sup>1</sup>  
and V. Brasil Lemos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IG/UFRGS Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, 91509-900, Brazil. akscomazzon@yahoo.com.br

<sup>2</sup>PETROBRÁS, Av. República do Chile, 65, Rio de Janeiro, RJ, 20031-912, Brazil.

Strontium and neodymium isotopic compositions of marine carbonates and phosphatic fossils can reflect global and regional environmental seawater composition. Sr isotopes enable stratigraphic correlation of marine sequences, whereas neodymium isotopes provide insights into provenance and ocean circulation. Then, isotopic studies have been used to improve both correlation among ancient marine sequences and their geochronologic resolution. In general terms, variations in seawater isotopic compositions are caused by fluxes in the contributions of oceanic and continental crust, which are sourced by hydrothermal activity and weathering processes. The long residence time of Sr in seawater (~4 Ma) compared to the rapid mixing rate of the oceans (1000 years) results in a globally uniform seawater Sr isotopic composition at any given time. Variations in <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr occur throughout geological time and are defined by the Sr isotope evolution curve (Denison et al., 1994). The curve has been age-calibrated for dating purposes, which is the basis for Sr isotope stratigraphy. Conversely, neodymium has a short residence time in seawater (~100-300 years), considerably shorter than ocean mixing time (1000 years). Therefore, the Nd isotopic composition of seawater is a regional signature, which is controlled by the weathering of local continental crust. Differences in <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd ratios between ocean basins provide a tool to discriminate regionally distinct water masses and trace the provenance of sediment sources (Holmden et al., 1996).

In the present study we have analyzed carbonate rocks, conodonts, and brachiopod shells to determine environmental seawater <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr and <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd isotopic compositions and to discuss paleotectonic considerations for the Itaituba and Nova Olinda Formations, Early- Middle Pennsylvanian of the Amazonas Basin, comparing with standard Sr and Nd isotopic seawater curve of the Phanerozoic (Denison et al., 1994). The reasonable Sr and Nd contents of conodonts provide a suitable source for measuring isotopic compositions, and thus have been well utilized for paleoseawater studies. Cleaning and leaching protocols have been implemented to prevent diagenetic problems. Articulate brachiopod shells are also utilized; screening procedures that assess trace element contents and the low-Mg calcite secondary shell layer were considered to yield the most reliable results. Although the carbonate rocks are precipitated directly from seawater, reflecting ambient seawater composition, whole rock carbonate often contains both primary components as well as post-depositional diagenetic cements that may have precipitated from fluids of different strontium isotopic composition. In this case the resulting strontium isotope values are a mixture of the constituting phases.

<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr data ranged from (0.708330 ± 0.000018 to 0.708850 ± 0.000046), with no distinct patterns for carbonates and brachiopods. Atokan conodonts displayed slightly high values (0.708360 ± 0.000016 to 0.708580 ± 0.000012) in relation to Morrowan conodonts (0.708330 ± 0.000018 to 0.708510 ± 0.000010). These values are more radiogenic when compared to the <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr global seawater curve evolution for this time period. Increasing influx of Sr from land masses in a restricted ocean basin, reflecting enhanced continental weathering during low stand sea level is a potential explanation for the Amazonas Basin during this time. <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd isotopic values showed scattered (0.511608 ± 0.000077 to 0.512296 ± 0.000029). Present-day εNd values always are lower than -7.2, and εNd<sub>(t=310 Ma)</sub> are always lower than -4.4. T<sub>DM</sub> around 1.5 Ga and εNd present-day values around -15 support an old continental Nd provenance to the ancient seawater, similar to those present in the rocks from Amazonian Craton related to the Rondonian-San Ignacio-Sunsás Provinces. Plotted in the εNd<sub>(t=310 Ma)</sub> isotopic global seawater curve evolution data for the Itaituba and the Nova Olinda Formations shift to lower values of εNd<sub>(t=310 Ma)</sub>, when compared to the Panthalassa Ocean. εNd present-day values are similar to the Atlantic Ocean seawater compositions nowadays, suggesting an incoming of seawater masses also from the Tethys Ocean, instead of a unique Panthalassa Ocean provenance of water during the Early-Middle Pennsylvanian time in the Amazonas Basin.

Denison, R.E., Koepnick, R.B., Burke, W.H., Hetherington, E.A., and Fletcher, A., 1994, Construction of the Mississippian, Pennsylvanian and Permian seawater <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr curve: *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, v. 112, p. 145-167.

Holmden, C., Creaser, R.A., Muehlenbachs, K., Bergstrom, S.M., and Leslie, S.A., 1996, Isotopic and elemental systematics of Sr and Nd in 454 Ma biogenic apatites: implications for paleoseawater studies: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 142, p. 425-437.

## CONODONTES E FAUNA ASSOCIADA NOS CARBONATOS DA FORMAÇÃO ITAITUBA, CARBONÍFERO DA BACIA DO AMAZONAS

SARA NASCIMENTO, ANA KARINA SCOMAZZON, LUCIANE PROFS MOUTINHO  
PPGGeo, UFRGS, RS, [sara.nascimento@ufrgs.br](mailto:sara.nascimento@ufrgs.br)

VALESCA BRASIL LEMOS  
Depto. de Paleontologia e Estratigrafia, IG/UFRGS, RS

Neste estudo, os conodontes foram utilizados como ferramenta principal para o refinamento bioestratigráfico e a caracterização paleoambiental dos estratos basais da Formação Itaituba (Carbonífero, Bacia do Amazonas), em conjunto com estudos petrográficos e da fauna fóssil associada. A área de estudo concentrou-se em duas pedreiras de calcário, localizadas a 30 km da cidade de Itaituba, na Região do Rio Tapajós, onde afloram os depósitos cíclicos carbonático-evaporíticos e delgados intervalos siliciclásticos característicos da formação. Para o estudo de fácies carbonáticas, foram preparadas 35 lâminas petrográficas, que permitiram a definição de 4 microfácies básicas: mudstones recristalizados, wackestones bioclásticos, packstones bioclásticos e grainstones bioclásticos/oncolíticos, as quais localizam o ambiente deposicional estudado dentro de um contexto de planície de maré. Para os estudos bioestratigráficos, foram preparadas 43 amostras da Pedreira 1 e 29 amostras da Pedreira 2, principalmente compostas por calcário e dolomito, classificados como wackestones e packstones. A fauna de conodontes encontrada é predominante nos packstones, os quais eram depositados durante as transgressões marinhas na região, correspondendo as melhores condições adaptativas para os conodontes. Os conodontes analisados foram classificados como *Idiognathoides sinuatus*, *Adetognathus lautus* e *Neognathodus bassleri*, *Neognathodus atokaensis*, *Neognathodus roundyi*, *Neognathodus medadulimus*, *Idiognathodus incurvus*, *Diplognathodus coloradoensis* e *Hindeodus minutus*, e indicam idade entre o neomorrowano - Atokano. Os elementos coletados na Pedreira 1 ocorrem, preferencialmente, nos ciclos carbonáticos das porções média e superior, correlacionáveis com o Morrowano superior. Nos estratos da Pedreira 2, os conodontes ocorrem, preferencialmente, nos ciclos mais inferiores e no topo da pedreira, correlacionáveis com o Atokano inferior. A fauna associada é composta por braquiópodes, moluscos bivalves e gastrópodes, trilobitas, equinodermos, briozoários, corais, ostracodes, palinóforos, foraminíferos, escolecodontes e dentes de peixes. O paleoambiente de deposição das rochas da Formação Itaituba foi identificado como marinho raso, de inframaré superior, com baixa a moderada energia e substrato lamoso.

## Paleobotânica

### A NEW BRYOPHYTE FROM THE LOWER CARBONIFEROUS OF BOLIVIA

NELSA CARDOSO & ROBERTO IANNUZZI

Depto. de Paleontologia e Estratigrafia, IG/UFRGS, RS, [liegeff@terra.com.br](mailto:liegeff@terra.com.br), [roberto.iannuzzi@ufrgs.br](mailto:roberto.iannuzzi@ufrgs.br)

A new bryophyte, *Hepaticites simpliciformis* sp. nov., from Lower Carboniferous of Bolivia is a thalloid plant without rhizoids or fertile structures. Midrib, cellular impressions and laminar "ribs" are present while superficial pores are not observed. The thallus structure is similar to the living Metzgeriaceae family, so, *Hepaticites simpliciformis* sp. nov. is possibly a liverwort. The studied material is associated with elements of the "Nothorhacopteris Flora" (*Archaeocalamites* sp., *Nothorhacopteris kellybelenensis*, *Triphyllopteris boliviana*, *?Sphenopteridium intermedium*) sensu Iannuzzi & Rösler [2000. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **161**(1-2):71-94], and was collected in the Siripaca Formation (Ambo Group, Titicaca Basin) on the Copacabana Peninsula, Titicaca Lake, that represents deposits of a swampy alluvial plain sequence. The Siripaca Formation is dated as latest Early Carboniferous (Late Viséan-earliest Serpukhovian). Hence, the species shown can be considered the oldest record of bryophytes in South America. The "Nothorhacopteris Flora" corresponds to lowland communities that lived under a warm-temperate climate in environments where peat-forming conditions were locally developed. The presence of bryophytes associated with this flora confirms the high levels of moisture for the environment in this part of Siripaca Formation. [Contribution to IGCP Project 471]

# **17<sup>th</sup> International Sedimentological Congress**

**August 27 – September 1, 2006**

**Fukuoka Japan**



Paleogene Flysch, Shimanto Belt, Shikoku

**The International Association of Sedimentologists**

**The Sedimentological Society of Japan**

**The Geological Society of Japan**



O-054

### The Occurrence of Coal Deposits in the Lower Pennsylvanian Sequence of the Intracratonic Amazonas Basin - Northern Brazil.

NILO SIGUEHIKO MATSUDA<sup>1</sup>; HIROSHI ODA<sup>2</sup>, RYO MATSUMOTO<sup>3</sup>, AMÉRICO MINORI<sup>4</sup>,  
LUCIANE PROFS MOUTINHO<sup>5</sup>, SARA NASCIMENTO<sup>5</sup>; ANA KARINA SCOMAZZON<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>PETROBRAS/E&P/UN-EXP, Av. Chile 65/ 1301, C.E.P. 20031-912, Rio de Janeiro, Brazil (nilo@petrobras.com.br)

<sup>2</sup>GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN – AIST, Site 1-1-1 Higashi, Tsukuba, 305-8537, Japan (hiroshi-oda@aist.go.jp)

<sup>3</sup>UNIVERSITY OF TOKYO, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-Ku, Tokyo-To, 113-0001, Japan (ryo@eps.s.u-tokyo.ac.jp)

<sup>4</sup>CAIMA – COMPANHIA AGRO INDUSTRIAL MONTE ALEGRE, Estrada Transamazonica, Km 32, Itaituba, PA

<sup>5</sup>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS. Dpto. Paleont. e Estrat. Inst. de Geo. Av. Bento Gonçalves, 9500, Pr. 43127/ Sala 211, Porto Alegre – RS, Brazil (luciane.moutinho@ufrgs.br)

A remarkable and continuous coal layer crops out in a quarry located along the Tapajos River, at the southern border of the Intracratonic Amazonas Basin. Settled near the lowermost portion of Itaituba Formation (Lower Pennsylvanian [1] [2] [3]) is probably the first known coal occurrence in the Gondwanan Amazonian basins. The coal layer varies from about 50 to 110 cm in thickness and is mostly composed of black pieces of leaves and stems of wood. The coal bed is settled between fine-grained sandstones and siltstones showing wave and current ripple structures and exposure features such as desiccation cracks.

The outcrop is about 40 m thick and consists of mixed carbonate, siliciclastic, and evaporite rocks. The carbonate facies are commonly composed of packstones, wackestones, mudstones, and grainstones rich in biodebris of brachiopods, echinoderms, foraminiferas, bryozoans, ostracods, gastropods, bivalves, and trilobites [4]. The marine domain is the interpretation based in petrography and geochemical dates carried out on the carbonates and siliciclastics section at which the coal layer is settled.

The outcrop section is composed by seven regular shallowing upward cycles of about 7.5 m thick each, which, the top is coincident to salinity cycles based upon the regular occurrence of evaporites and related molds. The coal bed located at the top of the uppermost cycle and composed petrographically by relative high content of mud particles and pyrite crystals, formed in environment influenced by seawater in a shallow delta-front. The knowledge and characterization of Carboniferous Amazonian Coal, certainly, could provide us a new approach for the research of alternative energy exploration program in that area, which could insert additional attractive investments.

#### REFERENCES.

- [1] Altiner, D., Savini, R. R. (1995) Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões basins (North Brazil): *Rer. Paléobiol.*, 14: 417 – 453; Montpellier.
- [2] 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 - Porto Alegre: UFRGS. Tesc de doutorado, p. 294.

[3] Chen, Z. Q.; Tazawa, J.; Shi, G. R.; Matsuda, N. S. (2003) Pennsylvanian (Carboniferous) brachiopods from the Itaituba Formation of the Amazon Basin, Brazil, *Alcheringa*, 28(2): 441-468.

[4] Matsuda, N. S. (2002) Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite in the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazon Basin, Northern Brazil. University of Tokyo. Department of Earth and Planetary Science. Tokyo, Japan. P. 223.

O-055

**Coal Properties and Trace Elements of the Coal of Lower Pennsylvanian****Intracratonic Amazon Basin - Northern Brazil.**

HIROSHI ODA<sup>1</sup>; NILO SIGUEHIKO MATSUDA<sup>2</sup>; RYO MATSUMOTO<sup>3</sup>; SATOKO NISHIKAWA<sup>4</sup>; AMÉRICO MINORI<sup>5</sup>; LUCIANE PROFS MOUTINHO<sup>6</sup>; SARA NASCIMENTO<sup>6</sup>; ANA KARINA SCOMAZZON<sup>6</sup>.

<sup>1</sup>GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN - AIST, <sup>2</sup>PETROBRAS/E&P/UN-EXP/ST/MSP, <sup>3</sup>UNIVERSITY OF TOKYO-DEPARTMENT OF EARTH AND PLANETARY SCIENCE, <sup>4</sup>HORIBA, Ltd., <sup>5</sup>CAIMA - COMPANHIA AGRO INDUSTRIAL MONTE ALEGRE, <sup>6</sup>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRG.


An important Lower Pennsylvanian [1] [2] [3] coal horizon occurs along the Tapajós River border, one of main effluent of Amazonas River, southern region of intracratonic Amazonas Basin. The regular coal layer with average of about 80 cm in thickness is settled into carbonate and siliciclastics layers and is mostly composed of black fragments of woods [4]. The coal is composed mainly by vitrinite and inertinite macerals and occurs associated with abundant pyrite and mud particles by about 18% of total organic carbon and the content of volatile elements is less than 5%. The coal maturity is shown by random vitrinite reflectance measurements ranging from 0.38 % to 0.70 %. The means value is approximate 0.55 % characterizing the outcropped coal as immature. The relative high content of mud particles and pyrite crystals suggested that the coal was formed in an environment that was strongly influenced by seawater. The poorly preserved exinites and richness in inertinites indicates deposition in oxic conditions. Rock Eval data imply all of the organic matters of this coal are terrigenous origin and low potential gas prone because of richness in type III organic matters. Thus, according to field description, petrographic and geochemical data, the suggested depositional environment for the lower Itaituba Formation coal is shallow delta-front.

And the authors performed X-ray element analysis by using XGT-5000 to reconstruct geochemical conditions of coal-forming basin in detail. One of the major advantages of the XGT is that it provides superb, seamless operations, from optical image observation to element analysis. The sample is loaded into the XGT-5000 at normal atmospheric pressure. No pre-treatment is needed, so analysis can be started quickly. The CCD image and X-ray beam share the same axis, so measurement positioning is easy and highly accurate. The displayed sample image corresponds exactly to the analysis point, providing greatly enhanced operation efficiency. The XGT-5000 is also equipped with mapping functions to identify sample materials.

The results of trace element analysis show that Ca, Mg, Fe, S as well Ti are enriched in the whole of coal. The high content of pyrite, distributed in the coal is the probably contribution high content of sulfur and iron. Additionaly, calcium and strontium are mostly probably from dolomite, limemud, or bioclasts from Itaituba formation.

**REFERENCES**

- [1] Altiner, D., Savini, R. R. (1995) Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões basins (North Brazil): *Rev. Paléobiol.*, 14: 417 – 453; Montpellier.
- [2] 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 - Porto Alegre: UFRGS. Tese de doutorado, p. 294.
- [3] Chen, Z. Q.; Tazawa, J.; Shi, G. R.; Matsuda, N. S. (2003) Pennsylvanian (Carboniferous) brachiopods from the Itaituba Formation of the Amazon Basin, Brazil, *Alcheringa*, 28(2): 441-468.
- [4] Matsuda, N. S. (2002) Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite in the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazon Basin, Northern Brazil. University of Tokyo. Department of Earth and Planetary Science. Tokyo, Japan. P. 223.



**XX CONGRESSO BRASILEIRO  
DE PALEONTOLOGIA**  
21 A 26 DE OUTUBRO DE 2007 - BÚZIOS

# ANAIS

**A PALEONTOLOGIA CELEBRANDO A VIDA**



**PETROBRAS** **BR** **FAPESP** **FAPERJ** **SBP/RJES** **CAPES** **CNPq**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

## CARBON AND OXYGEN ( $\Delta^{13}\text{C}$ AND $\Delta^{18}\text{O}$ ) ISOTOPIC SIGNATURES OF LOWER PENNSYLVANIAN SHALLOW-WATER CARBONATES FROM AMAZONAS BASIN, BRAZIL

Luciane P. Moutinho<sup>1</sup>, Nilo S. Matsuda<sup>1</sup>, Ana K. Scmazzon<sup>2</sup>, Sara Nascimento<sup>2</sup> & Valesca B. Lemos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PDI/CNPq - PETROBRAS/CENPES/BPA, Av. Horácio Macedo 950, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, 21941-915.

<sup>2</sup> IG/UFRGS Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, RS, 91509-900.

*luprofs@yahoo.com.br*

High-frequency cyclicity appears to be ever-present in the Pennsylvanian shallow-water carbonates of Amazonas Basin. In order to better understand the nature of these strata, petrographic and isotopic data were obtained along well exposed areas. The studied section is related to basal part of the Itaituba Formation, outcropped on the southern border of the basin, along the Tapajós River, Atokan in age based on conodonts. The vertical stacking pattern of strata allowed the identification of a cyclic recurrence of depositional and early diagenetic features, including evidences of a strong meteoric diagenetic overprint observed at the top of the cycles. Petrographic analyses have shown a number of carbonatic lithofacies interbedded with less abundant dolostones and sandstones recording sedimentary environments from infra to supratidal. According to petrographic and isotopic analyses the studied section is composed by seven shallowing upward cycles each about 7.5 m thick, driven by high frequency sea-level fluctuations forced by Earth's orbital cyclicity. The  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  analyses were carried out in 223 whole rock samples and show that the  $\delta^{18}\text{O}$  signal ranges from -6 to -4, whereas the  $\delta^{13}\text{C}$  signal ranges from 2 to 4 (Sample X PDB‰). Isotopic records were separated into 5 intervals approximately correspondent to shallowing upward cycles observed in the studied section. Despite the meteoric diagenetic overprint common to the studied profile, water depth variations caused expressive modifications in the water salinity and these are easily recognizable in the  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  curves. Negative  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  shifts characterize environmental restriction, associated to low relative sea level and reflect meteoric diagenetic overprint. Where the meteoric overprint is not identifiable, negative  $\delta^{13}\text{C}$  shifts reflect a reduction on organic productivity, during periods when the basin was submitted to restricted and evaporitic conditions. The later is also marked by synchronous positive shifts in  $\delta^{18}\text{O}$  curve as a result of concentration in  $^{18}\text{O}$  isotopes due to the enhancement on evaporation rates. Nevertheless, transgressive surfaces present a strong relation with negative  $\delta^{18}\text{O}$  shifts, characterizing water dilution in consequence of marine incursions. During transgressive and high sea-level phases the  $\delta^{18}\text{O}$  signals are gradually more negative, due to crescent water dilution, while progressive positive  $\delta^{13}\text{C}$  tendencies reveal the improvement of organic productivity, also associated to the widespread establishment of open marine conditions. In the present study, fluctuations in  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  curves are easily recognizable and strongly related to environmental changes. In addition, it demonstrates their potential as useful stratigraphic tools. It is, therefore, of significant interest that carbon and oxygen isotopic signatures of lower Pennsylvanian carbonates be detailed in future works.

## TAPHOFACIES OF LOWER PENNSYLVANIAN MARINE INVERTEBRATES FROM AMAZONAS BASIN, BRAZIL

Luciane P. Moutinho<sup>1</sup>, Nilo S. Matsuda<sup>1</sup>, Ana K. Scmazzon<sup>2</sup>, Sara Nascimento<sup>2</sup> & Valesca B. Lemos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PETROBRAS/CENPES/BPA Av. Horácio Macedo 950, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, 21941-915

<sup>2</sup>IG/UFRGS Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, RS, 91509-900

*luprofs@yahoo.com.br*

One of the most relevant characteristics of the Pennsylvanian shallow-water carbonates of the Amazonas Basin, is the diverse and well preserved invertebrate fossiliferous assemblages. In order to better understand the origin of these fossil concentrations, taphonomic data was obtained along well exposed areas of the basal part of the Itaituba Formation, which based on conodonts, is Atokan in age. According to petrographic analyses and the vertical stacking pattern of strata the studied section is composed by seven shallowing upward cycles driven by high frequency sea-level fluctuations. The taphonomically oriented analyses focusing on invertebrate organisms allowed the identification of six taphofacies for the herein section, which varies predictable in the observed cycles and are mostly related to stratigraphically relevant surfaces. **Supratidal Taphofacies** represents the intertidal/supratidal **Sablha** and occurs as organic rich microbial laminations. It is easily recognizable in shallow water deposits of late transgression or in association with transgressive surfaces hardly bioturbated by **Thalassinoides** sp. **Lagoon Taphofacies** develops in the intertidal protected lagoon and is composed by siliciclastic/evaporitic ostracodal bioclastic mudstones and wackstones. Characterizes restrict environmental contexts, occurring at early transgressive tracts or at or at the tops of the cycles on regressive late highstands. Restrict **Crinoidal Taphofacies** develops in the intertidal protected lagoon, adjacent to bioclastic and oolitic bars and is characterized by crinoidal bioclastic wackstones and packstones, associated to maximum flooding surfaces. **Bioclastic bar Taphofacies** represents the most destructive environmental context within the depositional profile, characterized by high energy associated to large exposition time. It is composed by grainstones of highly reworked brachiopods, crinoids, bryozoans, mollusks and ostracods and occurs widespread on the cycles with no specific relation to stratigraphic surfaces. **Intertidal Taphofacies** is characterized by packstones of reworked bioclasts and also records a destructive environment, below the fairwater wave base. Its taphonomic signature is similar to the recorded in **Bioclastic bar Taphofacies**, but not so extreme. It may occur as a component of transgressive surfaces, associated to **Supratidal Taphofacies** and bioturbated by **Thalassinoides** sp.; composing transgressive or highstand tracts or associated to maximum flooding surfaces, reflecting the amalgamation of deposits due to low sedimentation rates. **Infratidal Taphofacies** reveals the enhancement on depth and the reduction on turbulence. It is composed by well preserved bioclastic wackstones and occurs associated to maximum flooding surfaces, mainly shales or amalgamated packstones. As seen, taphofacies are useful faciological components to paleoecologic interpretations, supporting considerations about environmental-related genesis of the studied fossil concentrations. Thus, considering its predictable occurrence in the observed cycles, also display its potential as helpful stratigraphic tools.

## SIDIOGNATHODONTIDAE AND SWEETHOGNATHIDAE CONODONTS OF PENNSYLVANIAN MARINE CARBONATES OF AMAZONAS BASIN, BRAZIL

Ana Karina Scomazzon<sup>1</sup> Valesca B. Lemos<sup>1</sup>, Sara Nascimento<sup>1</sup>, Luciane P. Moutinho<sup>2</sup>, Nilo S. Matsuda<sup>2</sup>, Cassiane N. Cardoso<sup>1</sup> & Gabriel T. Dutra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UFRGS Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, RS, 91509-900

<sup>2</sup>Petrobras Av. Horácio Macedo 950, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, 21941-915

akscomazzon@yahoo.com.br

Conodont Idiognathodontidae and Sweethognathidae families occur in the marine sequence of the Tapajós Group, Pennsylvanian of Amazonas Basin. Predominantly **Idiognathoides sinuatus** and **Neognathodus symmetricus** in the Monte Alegre Formation followed by **Idiognathodus incurvus**, **Diplognathodus coloradoensis** and **Neognathodus bassleri** in the Itaituba and Nova Olinda formations. The most important to biostratigraphic implications are **Idiognathodus incurvus**, **Neognathodus symmetricus**, **N. atokaensis**, **N. medadulimus**, **N. roundyi**, **Diplognathodus coloradoensis**, **D. ellesmerensis**, and **D. orphanus**. **Idiognathodus incurvus** is the most abundant, occurring in Itaituba and Nova Olinda formations. **Idiognathodus** is difficult to speciate because of the large morphologic variation of the platform elements. Also, many juveniles or gerontic forms have been classified as species according to different morphologic features such as the adcarinal ridges, transverse ridges, height and outline of the platform, lobes and nodes. In the Amazonas Basin **I. incurvus** was mainly recognized by its oral features. It has a low, fused or nodose carina; lanceolate platform outline; robust, inwardly curved pointed posterior tip; inner lobe generally robust with row of nodes and parallel, continuous transverse ridges. In some specimens transverse ridges divided by fine groove in posterior extension of the carina and others present shallow trough toward the posterior end. Adcarinal ridges generally extend inward toward the free blade. In lateral view low platform and in aboral asymmetric cup. **Neognathodus** has morphologically variable specimens recovered from all three formations, but they are not abundant. Basic difference among **Neognathodus** morphologies has been related to symmetry in oral view and relation between parapets and carina, but the relevance of variations is not agreed upon. **Neognathodus symmetricus**, the oldest form in the recognized sequence, is narrow and symmetrical in upper view. **N. atokaensis** is distinguished primarily by having inner parapet higher than outer. In morphologic continuum from **N. bothrops**, through **N. medadulimus** and **N. medexultimus** to **N. roundyi**, the youngest morph, there is a shortening of the external parapet until just a few nodes remain in **N. roundyi**. **Diplognathodus coloradoensis** was recovered only in the lower part of Itaituba and Nova Olinda formations. This is a characteristic species of lower Desmoinesian, but a range from Morrowan to Desmoinesian has been accepted. **Diplognathodus ellesmerensis** and **D. orphanus** were found slightly higher stratigraphically than **D. coloradoensis**. **D. coloradoensis**, **D. orphanus** and **D. ellesmerensis** have been considered to be morphotypes of one species by some authors and separate species by others because of denticulate or edentate spatulas. The specimens found in this study are different species, with diagnostic variations. As a result, conodonts analyzed record an Early - Middle Pennsylvanian age for the marine deposits of the Tapajós Group.

