Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Werlem Holanda dos Santos

Análise estratigráfica do intervalo siluro-devoniano da Bacia do Amazonas

Rio de Janeiro

2014

Werlem Holanda dos Santos

Análise estratigráfica do intervalo siluro-devoniano da Bacia do Amazonas

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Bergamaschi

Coorientador: Prof. Dr. René Rodrigues

Rio de Janeiro

2014

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

S237 Santos, Werlem Holanda.
Análise estratigráfica do intervalo siluro-devoniano da Bacia do Amazonas / Werlem Holanda Santos. – 2014.
106 f. il.

Orientador: Sérgio Bergamaschi
Coorientador: René Rodrigues.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia .

1. Geologia estratigráfica - Siluriano – Teses. 2. Geologia estratigráfica - Devoniano - Teses. 3. Amazonas, Rio, Bacia – Teses. I. Bergamaschi, Sérgio. II. Rodrigues, René. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. IV. Título.

CDU 551.733.3/.734(282.281.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

_____ _____

Assinatura Data

Werlem Holanda dos Santos

Análise estratigráfica do intervalo siluro-devoniano da Bacia do Amazonas

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias.

Aprovado em 02 de Abril de 2014.

Coorientador:

_____

Prof. Dr. René Rodrigues.

Faculdade de Geologia – UERJ

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. Sérgio Bergamaschi (Orientador)

Faculdade de Geologia – UERJ

_____

Prof. Dr. Egberto Pereira

Faculdade de Geologia – UERJ

_____

Dr. Nilo Siguehiko Matsuda

Petrobras

Rio de Janeiro

2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, porto seguro para o meu viver.

AGRADECIMENTOS

A ANP por ter me fornecido a maioria dos dados com os quais trabalhei neste projeto. A CAPES pelo incentivo a pesquisa através da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, o professor Sérgio Bergamaschi, pelo incentivo e orientação durante os quase dois anos de mestrado. Ao meu co-orientador René Rodrigues, um colorado que possui uma cruz de malta batendo forte no peito, a quem eu recorri muitas vezes durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, que me orgulham muito pela história de superação em suas vidas e que sempre me apoiaram em tudo que fiz. As minhas três irmãs, pois foi delas que surgiu a minha vontade de estudar desde criança. E ao Alan, Nico e Marcelinho pelo incentivo.

A Wanessa Nipper Borges, dona do meu coração, pessoa maravilhosa e apaixonante que me ajudou direta e indiretamente em mais uma fase da minha vida.

Aos meus velhos, porém bons amigos: Jonas e Beto. Aos meus novos e surpreendentes amigos de mestrado: Diego Costa e Jonathan Barré, geólogos talentosíssimos e muito inteligentes. Sem eles, a experiência mais marcante durante estes dois anos de mestrado não teria sido possível: a conquista do Imperial Barrel Award (AAPG) 2013.

Ao professor Hernani Chaves, um senhor de coração bondoso que nos orientou elegantemente nessa caminhada, além de ter me ajudado na elaboração dos mapas estratigráficos.

A Luíza e Catarina, pois sorrisos e abraços sinceros são os verdadeiros combustíveis para vida.

Ao Bob e ao Patrick, é claro! Porque sem eles, tudo isto teria sido feito com menos alegria, menos sorrisos e menos amor.

E a Deus, por ter me ensinado entre outras tantas coisas a agradecer...

Agir, eis a inteligência verdadeira. Serei o que quiser. Mas tenho que querer o que for. O êxito está em ter êxito, e não em ter condições de êxito. Condições de palácio tem qualquer terra larga, mas onde estará o palácio se não o fizerem ali?

Fernando Pessoa

RESUMO

SANTOS, W. H. *Análise estratigráfica do intervalo siluro-devoniano da Bacia do Amazonas.* 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

O trabalho consiste na análise estratigráfica do intervalo siluro-devoniano da Bacia do Amazonas utilizando como base os conceitos da Estratigrafia Moderna, mais especificamente a sequência estratigráfica genética, proposta por Galloway (1989), a qual utiliza as superfícies de inundação marinha como os limites de uma sequência sedimentar. A principal razão para a utilização desta metodologia deve-se ao fato que o conteúdo rochoso compreendido no intervalo estudado teve a sua sedimentação relacionada às transgressões marinhas que faziam parte do contexto paleogeográfico da bacia durante o Siluriano e Devoniano. Desta forma, as superfícies de inundação máxima, representativas de eventos cronoestratigráficos, destacam-se nos perfis de raios gama e são tomadas como *datum* de correlação em treze poços exploratórios, os quais foram distribuídos em quatro seções (A-A', B-B', C-C' e D-D') pela bacia. A análise destas seções permitiu a identificação de quatro sequências de terceira ordem (AB, BC, CD e DE), limitadas no topo e na base por superfícies de inundação marinha. Cada sequência é constituída por ciclos regressivo-transgressivos assimétricos, representados pelo trato de sistemas de mar alto e pelo trato de sistemas transgressivo. A análise destas seções integrada à interpretação de mapas estratigráficos (isópacas, isólitas e porcentagem de areias) possibilitou identificar o depocentro da bacia, bem como duas áreas principais como fonte de sedimentos arenosos (uma a oeste e outra a sul). Além disto, foi possível inferir que a comunicação marinha com o continente, durante as transgressões paleozoicas, responsável pela deposição de sedimentos pelíticos, seguiu uma orientação de norte para sul, evoluindo obliquamente em direção ao continente num *trend* nordeste para sudoeste. Por fim, a partir da análise cíclica em perfis de raios gama, as superfícies de inundação marinha, do intervalo Devoniano, das bacias do Amazonas e Parnaíba foram correlacionadas.

Palavras-chave: Estratigrafia de sequências. Sequência estratigráfica genética. Bacia do Amazonas. Siluro-devoniano.

ABSTRACT

SANTOS, W. H. *Stratigraphic analysis of silurian-devonian interval of the Amazon Basin.* 2014. 90 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

The current study consists in the stratigraphic analysis of silurian-devonian interval in the Amazon Basin using as foundation the concepts of Modern Stratigraphy, more specifically the genetic stratigraphic sequence, proposed by Galloway (1989) that uses the marine flooding surface as a boundary of sequence. The main reason for using this methodology is due to the fact that the rock content within the studied interval had its sedimentation related to marine transgressions that were part of the basin paleogeographic context. Thus, the maximum flooding surfaces, representing chronoestratigraphic events, stand out in gamma ray profiles and are used as correlation datum on thirteen exploration wells, which were divided into four sections (A-A', B-B', C-C' and D-D') across the basin. Analysis of these sections allowed the identification of four third-order sequences (AB, BC, CD and DE) bounded by maximum flooding surfaces on the top and the base. Each sequence consists of asymmetric regressive-transgressive cycles, represented by highstand systems tract and transgressive systems tract. The analysis of these sections integrated with the stratigraphic maps interpretation (isopach, isolith and percentage of sands) allowed the identification of the depocenter and two main source areas of sandy sediments (west and south). Besides, it was possible to infer that marine communication with the continent during paleozoic transgressions, were responsible for the deposition of pelitic sediments, followed a direction from north to south, moving obliquely toward the mainland trend from northeast to southwest. Finally, from the cyclic analysis of gamma ray profiles, the maximum flooding surfaces in the Devonian interval of Amazonas and Parnaiba basins were correlated.

Keywords: Sequences stratigraphy. Genetic stratigraphic sequences. Amazon Basin. Silurian-devonian.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do Amazonas..... 19
Figura 2 - Modelo de compartimentação tectônica da região amazônica..... 22
Figura 3 - Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico..... 23
Figura 4 - Arcabouço estrutural simplificado da Bacia do Amazonas..... 28
Figura 5 - Mapa de anomalia magnética da Bacia do Amazonas mostrando os principais lineamentos estruturais..... 29
Figura 6 - Mapa de anomalia Bouguer, mostrando a distribuição do depocentro da Bacia do Amazonas..... 29
Figura 7 - Figura 7: Evolução da carta estratigráfica da Bacia do Amazonas, segundo diferentes autores..... 35
Figura 8 - Geocronologia e litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. 36
Figura 9 - Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas..... 37
Figura 10 - Evolução do termo sequência com o passar dos anos, desde a sua proposta original, definida por Sloss em 1962 e redefinida por diversos autores..... 41
Figura 11 - Modelos para delimitação de uma sequência sedimentar, a partir da identificação de seus tratos de sistemas e posicionamento de seus limites, de acordo com os autores citados na Figura 10..... 42
Figura 12 - Comparação entre os limites de sequências como observados no modelo da Exxon e no modelo de Galloway..... 45
Figura 13 - Perfil de referência estratigráfica, poço 1-AM-1-AM..... 51
Figura 14 - Mapa da Bacia do Amazonas com a localização dos poços e das seções utilizadas..... 52
Figura 15 - Comparação entre o mapa de isópacas elaborado neste trabalho e o mapa de anomalia Bouguer..... 53
Figura 16 - Seção A-A'..... 56
Figura 17 - Seção B-B'..... 59
Figura 18 - Seção C-C'..... 61
Figura 19 - Seção D-D'..... 63

Figura 20 - Mapa de isópacas da seção siluro-devoniana da Bacia do Amazonas..... 64
Figura 21 - Mapa de isólitas da seção siluro-devoniana da Bacia do Amazonas..... 65
Figura 22 - Mapa de porcentagem de areias da seção siluro-devoniana da Bacia do Amazonas..... 66
Figura 23 - Mapa de isópacas da sequência AB..... 69
Figura 24 - Mapa de isólitas de areias da sequência AB..... 70
Figura 25 - Mapa de porcentagem de areias da sequência AB..... 71
Figura 26 - Mapa de isópacas da sequência BC..... 74
Figura 27 - Mapa de isólitas de areias da sequência BC..... 75
Figura 28 - Mapa de porcentagem de areias da sequência BC..... 76
Figura 29 - Mapa de isópacas da sequência CD..... 79
Figura 30 - Mapa de isólitas de areias da sequência CD..... 80
Figura 31 - Mapa de porcentagem de areias da sequência CD..... 81
Figura 32 - Mapa de isópacas da sequência DE..... 84
Figura 33 - Mapa de isólitas de areias da sequência DE..... 85
Figura 34 - Mapa de porcentagem de areias da sequência DE..... 86
Figura 35 - Conceito de hierarquia representado através de um diagrama..... 87
Figura 36 - Localização das principais bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil, com destaque para as bacias do Amazonas e Parnaíba..... 90
Figura 37 - Correlação entre as superfícies chave das bacias do Amazonas e Parnaíba durante o Devoniano..... 93
Figura 38 - Direção das transgressões marinhas ocorridas durante o Devoniano nas bacias do Amazonas e Parnaíba através da análise dos mapas de isólitas de areias das duas bacias..... 94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades litoestratigráficas da Bacia do Amazonas e suas respectivas idades, segundo Melo e Loboziak (2003) e Grahn (2005) 39

Tabela 2 - Terminologia e duração dos ciclos estratigráficos segundo diferentes autores. (Modificado de Cunha, 2000) ..... **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

BDEP – Banco de dados de exploração e produção.

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

SIM – Superfície de inundação máxima.

TSMA – Trato de sistema de mar alto.

TSMB – Trato de sistema de mar baixo.

TST – Trato de sistema transgressivo.

LS – Limite de sequência.

Ma – Milhões de anos.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	**BACIA DO AMZONAS**	18
1.1	**Apresentação**	18
1.2	**Limites da bacia**	18
1.3	**Trabalhos Anteriores**	19
1.4	**Embasamento da Bacia do Amazonas**	21
1.5	**Evolução da Bacia do Amazonas**	24
1.5.1	Origem da bacia	24
1.5.2	Desenvolvimento tectono-sedimentar	25
1.5.3	Controle estrutural e principais eixos deposicionais	27
1.6	**Estratigrafia**	30
1.6.1	Litoestratigrafia do intervalo estudado	32
1.6.1.1	Grupo Trombetas	32
1.6.1.2	Grupo Urupadi	33
1.6.1.3	Grupo Curuá	33
1.7	**Bioestratigrafia**	38
2	**ESTRATIGRAFIA MODERNA**	40
2.1	**Introdução**	40
2.2	**Aplicação dos conceitos da estratigrafia moderna**	43
2.2.1	A Sequência Genética de Galloway	46
3	**ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA**	48
3.1	**Marcos estratigráficos**	48
3.2	**Definição das sequências**	49
3.3	**Seções e mapas estratigráficos**	52
3.3.1	Seção A-A’	54
3.3.2	Seção B-B’	57
3.3.3	Seção C-C’	60
3.3.4	Seção D-D’	62
3.4	**Sequências**	67
3.4.1	Sequência AB	67

3.4.2 Sequência BC..... 72
3.4.3 Sequência CD..... 77
3.4.4 Sequência DE..... 82
3.5 **Hierarquia das sequências**..... 87
3.6 **Correlação com a Bacia do Parnaíba**..... 89
CONCLUSÕES..... 95
REFERÊNCIAS..... 97

INTRODUÇÃO

Considerações Iniciais

A Estratigrafia pode ser caracterizada como o principal alicerce na análise da evolução de uma bacia sedimentar, seja esta análise feita em qualquer escala. Como ciência tem como fundamento a descrição e a correlação das rochas em unidades mapeáveis, levando em consideração as suas propriedades, os atributos intrínsecos, a distribuição, a relação no espaço e a sucessão no tempo a fim de compreender e estabelecer um padrão na história geológica.

Tal ciência conta com a Estratigrafia de Sequências que é considerada por muitos como o último grande avanço científico da comunidade geológica. Tal metodologia tem como característica o provimento de um modelo preditivo na análise das rochas sedimentares, tendo como foco principal a superfície que separa pacotes de estratos caracterizados por um *trend* específico.

Seguindo os conceitos propostos por Galloway (1989) para a determinação de sequências deposicionais, o presente estudo propõe-se a identificar as sequências genéticas que compõem o intervalo siluro-devoniano da Bacia do Amazonas utilizando perfis de raios gama e mapas estratigráficos.

Objetivos

O objetivo deste estudo é o de contribuir para o avanço do conhecimento a respeito da evolução estratigráfica do intervalo siluro-devoniano da Bacia do Amazonas, utilizando como base os conceitos da Estratigrafia Moderna, tendo os seguintes objetivos:

- Fatiamento deste intervalo em termos de sequências deposicionais de acordo com a concepção de Galloway (1989);

- Elaboração de correlações estratigráficas a partir de dados de poços;
- Interpretação dos sistemas deposicionais e tratos de sistemas;
- Elaboração de mapas estratigráficos do intervalo estudado (isópacas, isólitas e percentagem de areia) visando interpretações paleoambientais e paleogeográficas;
- Discussão a respeito da evolução deposicional do intervalo siluro-devoniana.

Metodologia

A metodologia aplicada a este trabalho envolveu, além da pesquisa bibliográfica sobre a Bacia do Amazonas, as seguintes etapas:

Aquisição dos dados

Foram solicitados dez poços exploratórios ao Banco de Dados de Exploração e Produção da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (BDEP/ANP). A seleção destes poços levou em consideração principalmente a presença do intervalo de interesse e os tipos de perfis geofísicos existentes para cada poço. Os demais poços apresentados neste trabalho foram adquiridos através da bibliografia.

Identificação de ciclos sedimentares

Inicialmente foram identificados os ciclos sedimentares a partir do padrão dos perfis elétricos. O procedimento adotado nesta etapa foi basicamente a análise das curvas de variação da radioatividade natural das rochas (perfil de raios gama). A determinação de marcos estratigráficos no intervalo siluro-devoniano deu-se principalmente a partir da correlação entre os perfis de raios gama e secundariamente os perfis de resistividade.

Os ciclos sedimentares, identificados em cada poço, foram correlacionados entre si, durante o intervalo de interesse. Em seguida, foram identificadas sequências sedimentares, utilizando como elemento chave as superfícies de inundação máxima, como recomendado por Galloway (1989).

A partir da descrição litológica e dos perfis geofísicos utilizados nas interpretações tornou-se possível à aplicação dos conceitos relacionados à Estratigrafia de Sequências, analisando o padrão de empilhamento do intervalo, bem como suas variações laterais e suas implicações genéticas.

Foi utilizado o programa Grapher 4.0 para a elaboração das curvas dos perfis elétricos e o Corel Draw X6 na correlação entre os mesmos.

Elaboração de mapas estratigráficos

Os mapas estratigráficos são mapas geológicos que representam a distribuição de diferentes propriedades de caráter estratigráfico em um pacote de rochas. Neste trabalho foram elaborados três tipo de mapas estratigráficos (isópacas, isólitas de areias e porcentagem de areias), a partir do *software* Oasis Montaj.

Os mapas de isópacas são ferramentas essenciais para a interpretação da história de uma bacia sedimentar, pois indicam à evolução da forma, a orientação da

bacia, as variações na geometria do preenchimento sedimentar, além de possivelmente fornecer informações paleogeográficas associadas.

Uma isópaca é a representação de uma linha de igual espessura. Portanto, um mapa de isópacas ilustra a geometria da bacia para determinado intervalo através da variação da espessura deste intervalo no espaço (MIALL, 1990). No atual trabalho, este tipo de mapa foi construído apenas para uma área de interesse dentro da Bacia do Amazonas, destacando os principais depocentros e os altos intrabacinais.

Os mapas de isólitas são mapas construídos de forma a fatiar ainda mais um intervalo estratigráfico, individualizando as espessuras referentes a cada litofácies (MIALL, 1990). A construção dos mapas de isólitas permite que a distribuição de cada litologia seja interpretada individualmente, com base em seus próprios controles deposicionais.

Por fim, foram elaborados os mapas de porcentagem de litologia. Estes mapas expressam a distribuição de determinada litologia (neste caso os arenitos), em relação à espessura total de um intervalo, segundo a fórmula:

$$\%\,Litologia = \frac{Isólita}{Isópaca} \times 100$$

1 **BACIA DO AMAZONAS**

1.1 **Apresentação**

A Bacia do Amazonas desenvolveu-se sobre o Cráton Amazônico que apresenta notáveis descontinuidades litológicas e geocronológicas (figura 1). Na verdade, este cráton é a representação da junção de dois outros crátons, o da Guiana, ao norte e o Brasileiro, ao sul. O substrato Neoproterozóico da bacia é constituído por faixas móveis (Maroni-Itacaiúnas, Rio Negro Juruena e Araguaia-Tocantins) acrescidas a um núcleo mais antigo, denominado Província Amazônica Central (CORDANI et al., 1984).

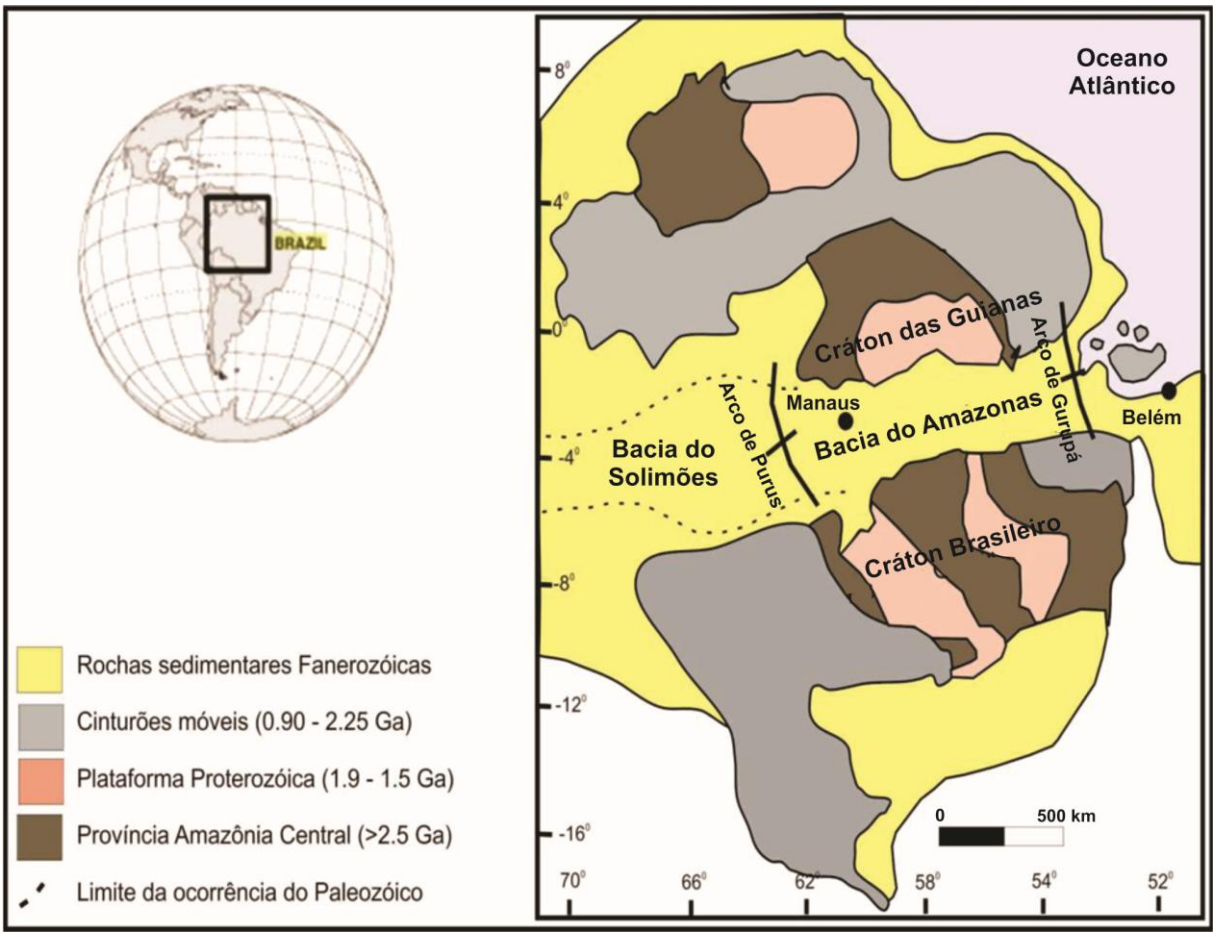
A coluna sedimentar e ígnea apresenta depósitos desde o Ordoviciano, os quais marcam o início de deposição na bacia, até o Terciário quando foi finalizada a deposição da sua grande história de preenchimento sedimentar. Sua sedimentação é predominantemente siliciclástica com depósitos carbonáticos no Carbonífero Superior, além de diabásios representativos de eventos magmáticos durante o Juro-Triássico.

1.2 **Limites da bacia**

A Bacia do Amazonas apresenta limites bem definidos em seus mais de 500.000 km^2 de área. Ela encontra-se situada entre o cráton das Guianas, ao norte, e o cráton Brasileiro ao sul. Abrange grande parte dos estados do Amazonas e do Pará, separa-se a oeste da Bacia do Solimões pelo Arco de Purus e a leste limita-se a ombreira do rifte mesozoico de Marajó denominado de Arco de Gurupá (figura 1).

A bacia ocupa uma área de forma retangular e localiza-se entre a linha do Equador e o paralelo 5°S e entre os meridianos 62°W e 51°W. Seu preenchimento sedimentar pode atingir até 5000 m de espessura.

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do Amazonas.



Fonte: MATOS e BROWN, 1992 apud DOMENECH, 2012.

1.3 **Trabalhos Anteriores**

Os trabalhos pioneiros de investigação geológica na Bacia do Amazonas datam de 1862, quando Chandless executou um perfil ao longo do Rio Tapajós e registrou a primeira ocorrência de fósseis de idade carbonífera no Rio Cupari, afluente do Rio Tapajós (BAHIA, 2007).

A Petrobrás em suas pesquisas exploratórias em busca de hidrocarbonetos foi a grande incentivadora de estudos na bacia a partir de 1954. Entretanto, vale ressaltar que a maioria destes trabalhos tinha um caráter confidencial com uma circulação restrita dentro da companhia. A partir de 1970 as pesquisas se

intensificaram com o mapeamento ao milionésimo desenvolvido pelo Projeto RADAM.

Destacam-se os trabalhos de Caputo et al. (1971), que fazem uma revisão geral das unidades geológicas da Bacia do Amazonas, obedecendo ao Código de Nomenclatura Estratigráfica e apresentando a primeira carta estratigráfica da bacia.

No tocante a sedimentologia, geoquímica e estratigrafia química são relevantes os trabalhos de Rodrigues et al. (1973, 1989, 2001) e Triguis et al. (2005), na Sequência Paleozoica, analisando os sistemas deposicionais e as características quanto ao potencial para a geração de hidrocarbonetos da Formação Barreirinhas no Devoniano Superior.

No que diz respeito à evolução tectônica e estrutural que configura a Bacia do Amazonas, pode-se destacar os trabalhos publicados por Bahia e Abreu (1985 apud CUNHA, 2000), Linsser (1958 apud CUNHA, 2000), Luz (1966 apud CUNHA, 2000), Neves (1989 apud CUNHA, 2000), os quais consideravam a teoria de que existiu um rifte inicial na bacia. Outros autores como Wanderley Filho (1991), Coutinho e Gonzaga (1994 apud CUNHA, 2000) posteriormente também escreveram sobre o aspecto tectônico da Bacia do Amazonas. Ainda sobre os esforços distensivos aos quais foi submetida à bacia, destacam-se os trabalhos de Num e Aires (1985, apud CUNHA 2000).

Os conceitos da moderna Estratigrafia de Sequências foram abordados principalmente por Cunha (2000) em sua dissertação de mestrado, onde foram identificadas sequências de 4ª e 5º ordem utilizando a metodologia proposta pela escola da Ilson, baseada na identificação de discordâncias erosivas.

As recentes versões da carta estratigráfica da Bacia do Amazonas foram elaboradas pela Petrobrás e publicadas em seus boletins informativos, inicialmente em 1994, com autoria de Cunha, Gonzaga, Coutinho e Feijó, e, posteriormente, no ano de 2007, por autoria de Cunha, Silva e Melo.

1.4 **Embasamento da Bacia do Amazonas**

A Bacia do Amazonas localiza-se ao norte da porção ocidental da Plataforma Sul-Americana, a qual possui uma origem arqueana e complexa evolução geológica. Almeida e Hasui et al. (1981) consideram que a consolidação final dessa plataforma ocorreu entre o Proterozoico Superior e início do Fanerozoico com o término do Ciclo Brasiliano.

A bacia foi instalada sobre um embasamento cristalino constituído por rochas de idades arqueanas a neoproterozoicas, denominado de Cráton Amazônico. Na verdade, este cráton é a representação da junção de dois outros crátons, o da Guiana, ao norte e Brasileiro, ao sul.

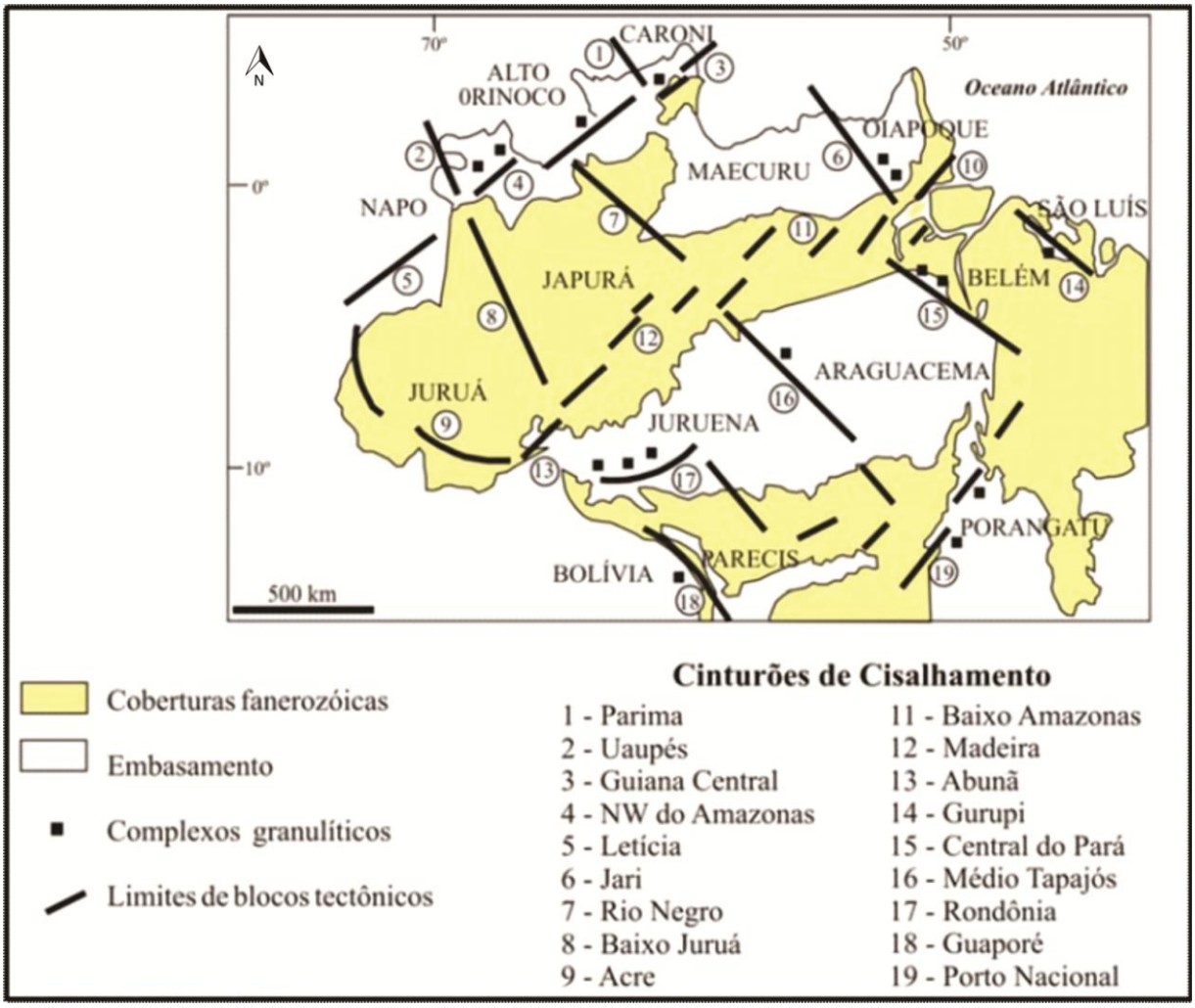
Levando-se em consideração os trabalhos existentes na bibliografia a respeito do substrato sobre o qual a bacia está instalada, basicamente existem duas propostas para a divisão e compartimentação do Cráton Amazônico: a da escola fixista e a da escola mobilista.

Seguindo os preceitos da tectônica fixista, o Cráton Amazônico representa um mosaico de doze blocos tectônicos justapostos, ou paleoplacas, que se agregaram através de colisões diacrônicas no Arqueano e Paleoproterozoico, compondo parte de um megacontinente. Os blocos seriam constituídos basicamente por complexos gnáissicos de médio grau metamórfico e sequências metassupracrustais, definindo terrenos do tipo granitogreenstone. Os limites dos blocos seriam marcados por suturas colisionais, delineadas pela gravimetria, às quais estariam associados cinturões granulíticos, ou por cinturões de cisalhamento, que envolveriam cavalgamentos, associados ou não a transcorrências tardias, igualmente condizentes com a tectônica colisional (figura 2). Segundo este modelo, ao final do Paleoproterozoico e início do Mesoproterozoico haveria uma grande massa continental consolidada, sobre a qual atuaram apenas eventos de tectônica intraplaca do tipo extensional (ROSA-COSTA, 2006).

A escola mobilista pontua que a evolução do Cráton Amazônico é resultante de sucessivos episódios de acresção crustal durante o Paleo e Mesoproterozoico, em volta de um núcleo mais antigo, estabilizado no final do Arqueano. Segundo esta proposta, o Cráton Amazônico pode ser dividido em grandes províncias geocronológicas, definidas a partir de padrões geocronológicos característicos,

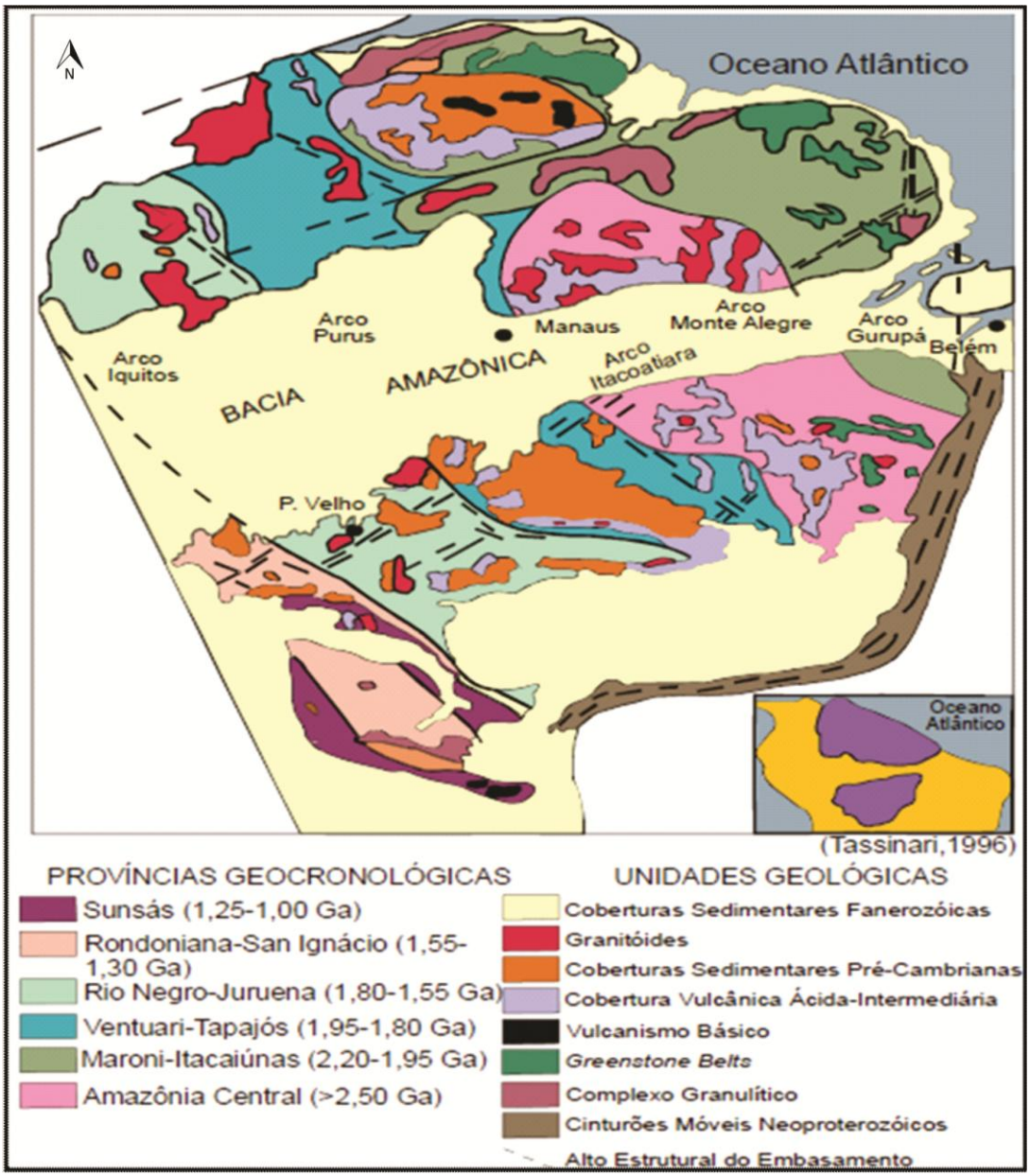
assembleias litológicas, *trends* estruturais e histórias geológicas particulares e distintas em relação às províncias adjacentes. Desta forma, foram individualizadas as províncias Amazônia Central (> 2,5 Ga), que compreende os núcleos arqueanos Carajás e Iricoumé, e as províncias paleo e mesoproterozoicas denominadas Maroni-Itacaiúnas (2,2 – 1,9 Ga), Ventuari-Tapajós (1,9 – 1,8 Ga), Rio Negro-Juruena (1,8 – 1,55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1,55 – 1,3 Ga) e Sunsás (1,25 – 1,0 Ga) (figura 3).

Figura 2 - Modelo de compartimentação tectônica da região amazônica no Brasil.



Fonte: HASUI et al.,1984.

Figura 3 - Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico.



Fonte: REIS, 2006.

1.5 **Evolução da Bacia do Amazonas**

1.5.1 Origem da bacia

Atualmente existe uma tendência mundial de se acreditar que abaixo das bacias paleozoicas deve existir um sistema de rifte, o qual direta ou indiretamente, teria influenciado na origem da depressão tectônica onde se implantou posteriormente a sinéclise.

Muitos pesquisadores consideram a teoria de que existiu um rifte inicial na Bacia do Amazonas,o qual seria o responsável pela formação de uma depressão tectônica sobre a qual se desenvolveu a sinéclise. Coutinho e Gonzaga (1994, apud CUNHA, 2000), apoiaram-se em dados estruturais e geocronológicos para postularem a mesma ideia de um rifte inicial.

Amaral (1974, apud TORRES 1998) interpretou a origem da Bacia Sedimentar do Amazonas como produto de um evento de ativação reflexa no Ordoviciano, associado à evolução do Geossinclíneo Andino.

Segundo Caputo (1984), a origem da bacia está relacionada a anomalias térmicas na base da litosfera, como a formação de *hot-spot*, seguido de soerguimento, erosão, rifteamento e formação da sinéclise, devido ao resfriamento e a carga sedimentar paleozoica.

Nunn e Aires (1985, apud CUNHA, 2000) foram os primeiros a idealizarem a formação da bacia como um mecanismo de poli-rifteamento, sugerindo três eventos distensivos com estiramentos diferencias da litosfera.

Teixeira et al. (1986, apud TEIXEIRA, 2001) identificaram na Bacia do Amazonas evidência sísmica de um rifte precursor na região do Rio Canumã, plataforma sul da bacia. Os sedimentos da possível fase rifte estariam relacionados à Formação Prosperança, pertencente ao Grupo Purus.

Utilizando dados estruturais Wanderley Filho (1991) considerou a origem da bacia aos lineamentos NE, NW e EW, reativados distensivamente durante a abertura e fechamento do Oceano Iapetus, no Paleozoico, instalando um imenso rifte na área. Ainda neste estudo o autor sustenta a hipótese de que a bacia foi segmentada

por falhas de transferência NW-SE, denominadas de Manacapurí-Rio Negro, Urubu-Crepori, Faro-Juriti e Jarí-Pacajarí as quais foram responsáveis pelacompartimentação da bacia em vários blocos, deslocando depocentros e desenvolvendo altos internos, como o de Purus e o de Gurupá.

Fortes (1993, apud TORRES, 1998) propôs, analisando regionalmente os alinhamentos magnéticos, um efeito cisalhante sinistral como associado à gênese da bacia, ao invés de um afastamento transtensivo puro entre o escudo das Guianas e o escudo Brasileiro.

Para Milani e Thomaz Filho (2000), a existência de forte anomalia gravimétrica positiva coincidente com o eixo da sinéclise do Amazonas sugere a presença de corpos ultrabásicos rasos. A ocorrência destes corpos e a identificação de sedimentos aulacogênicos indicam que provavelmente um processo de extensão crustal foi o mecanismo que governou a subsidência inicial da Bacia do Amazonas.

1.5.2 Desenvolvimento tectono-sedimentar

Todos os eventos tectônicos paleozoicos ocorridos na borda oeste da antiga placa gondwânica, além dos eventos mesozoicos decorrentes da abertura do Oceano Atlântico estão registrados na Bacia do Amazonas. Estes eventos tectônicos provocaram soerguimentos e subsidências, gerando arcos no interior da bacia e discordâncias regionais, intercalados com invasões marinhas e formações de sequências sedimentares (CUNHA et al., 2007).

A evolução tectono-sedimentar da bacia está relacionada à dispersão dos esforços no fechamento do Ciclo Brasiliano (cerca de 500 Ma), iniciando uma fase de subsidência e o consequente desenvolvimento de uma sinéclise intracontinental, sobre a qual várias unidades sedimentares e ígneas acumularam-se posteriormente. Entre a fase final da orogenia e a fase de implantação da sinéclise foram depositadas as formações Prosperança e Acari, pertencentes ao Grupo Purus, preservadas apenas na porção ocidental da bacia, em pequenos grábens isolados (CUNHA et al., 2007).

O preenchimento sedimentar da Bacia do Amazonas ocorreu a partir do Neo-Ordoviciano, de leste para oeste em *onlap* sobre o Arco de Purus (limite ocidental da bacia) com alternância entre sedimentos marinhos e glaciais pertencentes ao Grupo Trombetas, caracterizando desta forma a Sequência Ordovício-Devoniana (CUNHA et al., 2007). Esta sequência encontra-se parcialmente truncada no topo pela discordância decorrente da Orogenia Caledoniana, a qual causou regressão e rebaixamento do nível do mar, expondo as rochas do Grupo Purus e do embasamento cristalino.

Após a discordância regional relacionada à Orogenia Caledoniana ocorreu o segundo ciclo transgressivo-regressivo na bacia, promovendo a deposição da Sequência Devoniana-Tournaisiana, representada pelos grupos Urupadi e Curuá. O Grupo Urupadi é composto pelas formações Maecuru e Ererê, constituídas de sedimentos fluvio-deltaicos. Já o grupo Curuá, após revisão de Cunha et al.(2007) é composto pelas formações Barreirinhas, Curiri e Oriximiná.

Durante o Carbonífero uma intensa atividade tectônica atuou nas margens da Placa Sul-Americana: a Orogenia Acadiana, ocasionando soerguimento e erosão dessa sequência e originando a discordância que a separa da unidade sobreposta, a Formação Faro, a qual configura isoladamente a Sequência Neoviseniana que se caracteriza por arenitos e pelitos flúvio-deltaicos e litorâneos com influência de tempestades. O topo desta sequência é afetado pelo recuo do mar associado à Orogenia Eo-Herciniana, a qual proporcionou um extenso processo erosivo nessa sequência (CUNHA et al., 2007).

Após um hiato temporal de cerca de 15 milhões de anos, um novo ciclo deposicional de natureza transgressiva-regressiva tomou lugar na Sinéclise do Amazonas, durante o Neocarbonífero, trata-se da Sequência Pensilvaniano-Permiana, constituída pelas formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá, reunidas no Grupo Tapajós. Tais formações apresentam um amplo espectro de ambientes deposicionais com uma grande variação lateral de fácies, desde continentais até marinhos restritos, compostos de sedimentos clásticos, carbonatos e evaporitos, indicando uma mudança significativa de um clima frio para um clima quente e árido (CUNHA et al., 2007).

Neste período, enquanto o arco de Purus encontrava-se submerso, ocorreu o soerguimento do Arco de Gurupá, fechando a ligação a leste com as bacias

africanas, tornando-se, portanto as bacias do Solimões e Amazonas uma única bacia (BAHIA, 2007).

Posteriormente, a bacia sofreu esforços distensivos que resultaram na ocorrência de um magmatismo básico na forma de enxame de diques e soleiras de diabásio de idade juro-triássica, conhecido como magmatismo Penatecaua. Durante o Juro-cretáceo, a bacia experimentou a reativação de fraturas preexistentes e deformações compressivas ou cisalhantes, decorrentes das orogenias Kimmeridgiana tardia e Oregoniana, caracterizando desta maneira o evento conhecido como Diastrofismo Juruá (CAMPOS e TEIXEIRA, 1988).

A Sequência Cretácea-Terciária corresponde ao Grupo Javari, composto pelas formações Alter do Chão e Solimões, sendo constituída de clásticos continentais, depositados por sistemas fluviais e flúvio-lacustres diretamente sobre a superfície de discordância que marca o topo da sequência paleozoica. Tal sequência ocupa o espaço criado devido ao relaxamento dos esforços compressionais e atividades da Orogenia Andina. A partir do Mioceno, a bacia do Amazonas ficou isolada e a área fonte principal passa a ser a Cordilheira dos Andes com a rede de drenagem correndo de oeste para leste (CUNHA, 2000).

II.5.3 Controle estrutural e principais eixos deposicionais

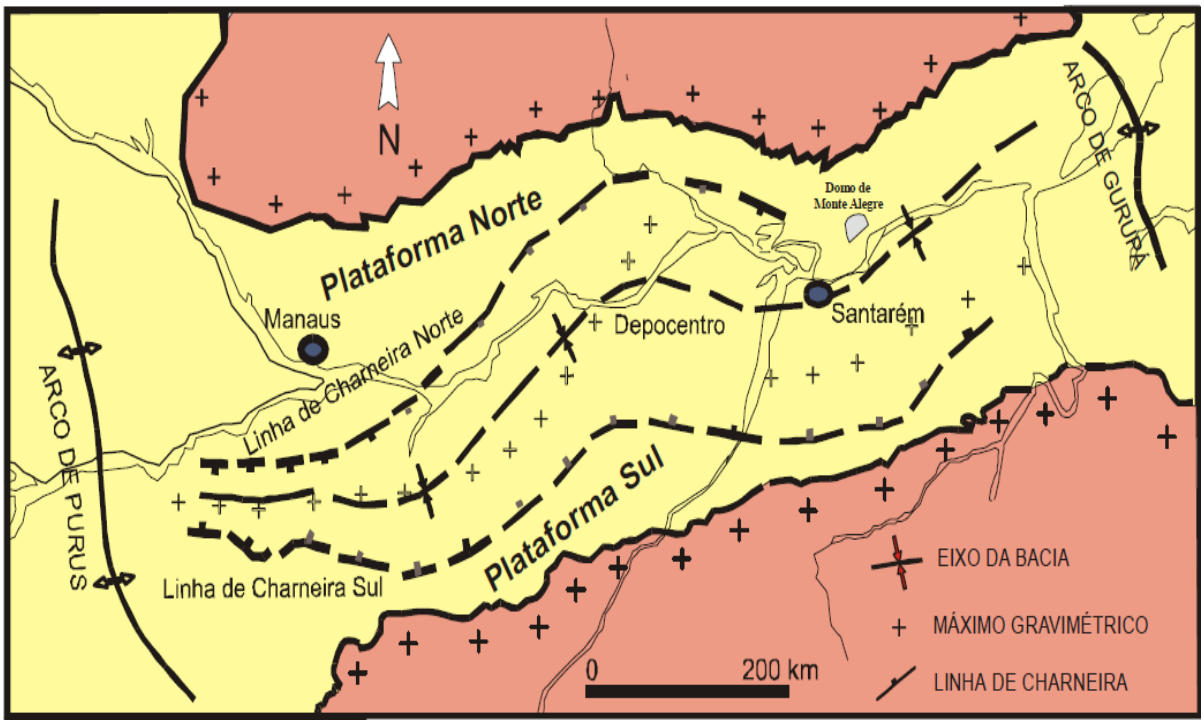
A sinéclise do Amazonas em sua história deposicional de mais de 400 Ma experimentou diversos eventos tectônicos, os quais foram responsáveis pela sua configuração atual. As principais feições estruturais da Bacia do Amazonas podem ser classificadas como lineamentos com orientação principal NE-SW (figura 4). Além destas, o mapa de anomalia magnética indica uma forte estruturação de direção NW-SE concentrada na porção sudeste da bacia (figura 5).

A gravimetria é utilizada como uma importante ferramenta na caracterização estrutural do depocentro da bacia, apresentando a linha de maior depressão ou subsidência definida por altos gravimétricos. Possui uma orientação preferencial SW-NE sendo deslocado em algumas regiões, caracterizando um padrão conhecido como *dog leg* (figura 6).

Wanderley Filho (1991) defendeu a tese de que a bacia foi segmentada por falhas de transferência NW-SE, denominadas de Manacapurí-Rio Negro, Urubu-Crepori, Faro-Juriti e Jarí-Pacajarí as quais foram responsáveis pela compartimentação da bacia e vários blocos, deslocando depocentros e desenvolvendo altos internos, como o de Purus e Gurupá.

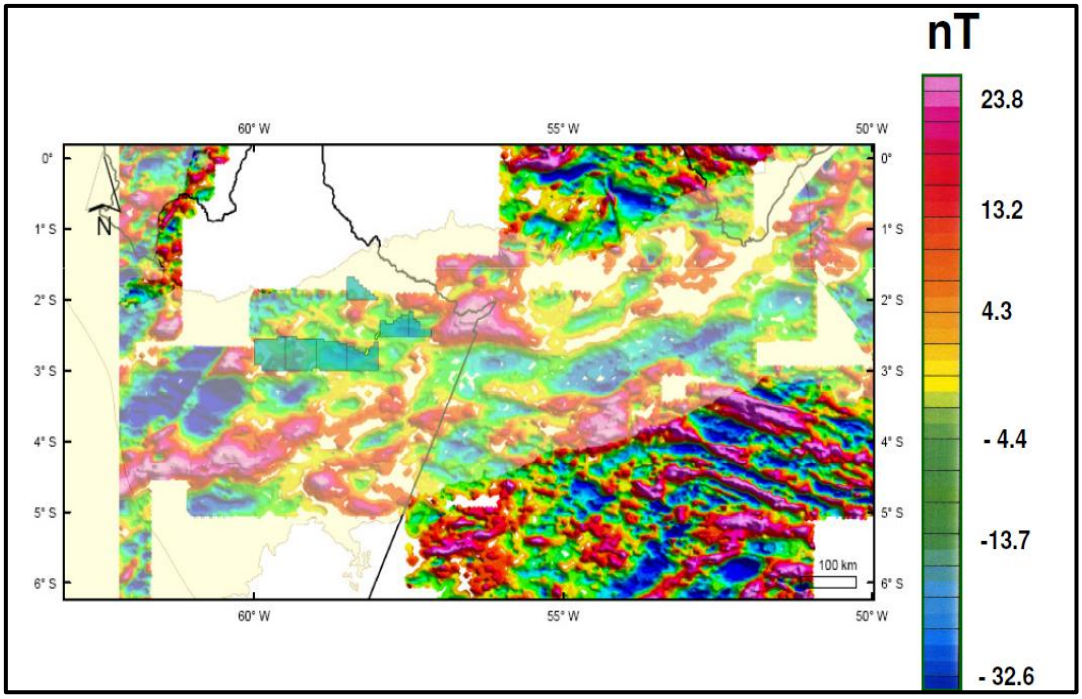
A ausência de dobras, discordâncias angulares e basculamentos de blocos nas formações paleozoicas, indicam que as falhas normais mestras foram ativas apenas no estágio inicial de formação da bacia, durante a abertura e fechamento do Oceano Iapetus (WANDERLEY FILHO, 1991).

Figura 3 - Arcabouço estrutural simplificado da Bacia do Amazonas.



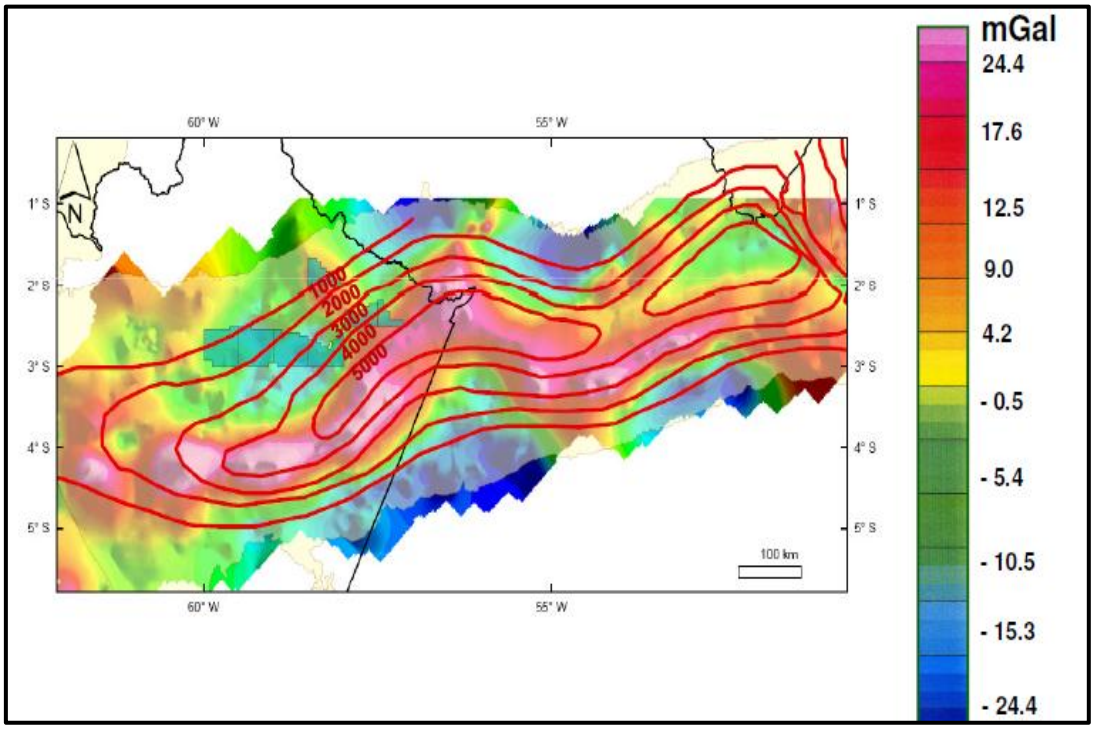
Fonte: CUNHA, 2000.

Figura 4 - Mapa de anomalia magnética da Bacia do Amazonas.



Fonte: DIGNART et al., 2009.

Figura 5 - Mapa de anomalia Bouguer.



Fonte: DIGNART et al., 2009.

1.6 **Estratigrafia**

O arcabouço estratigráfico da Bacia do Amazonas sofreu algumas modificações no que diz respeito à Estratigrafia de Sequências ao longo dos anos. Cunha destaca-se como principal autor de trabalhos recentes relacionados à estratigrafia da bacia, incluindo a elaboração de suas últimas duas cartas estratigráficas.

Segundo Cunha et al. (2007), considerando-se as premissas da Estratigrafia de Sequências, a Bacia do Amazonas apresenta duas importantes megassequências de primeira ordem, que totalizam cerca de 5.000 m de preenchimento sedimentar e ígneo. São elas: uma paleozoica, constituída por rochas sedimentares de naturezas variadas, associadas a um grande volume de intrusões de diques e soleiras de diabásio mesozoicos, e uma mesozoico-cenozoica sedimentar. A Megassequência Paleozoica, segundo os mesmos critérios, pode ser dividida em quatro sequências de segunda ordem, formalmente designadas como Sequência Ordovício-Devoniana, Sequência Devono-Tournaisiana, Sequência Neoviseana e Sequência Pensilvaniano-Permiana. Todas são delimitadas por quebras significativas da sedimentação, decorrentes dos eventos tectônicos atuantes nas bordas da Placa Gondwânica, retratadas pelas expressivas discordâncias regionais que as separam.

A seguir serão discriminadas as quatro sequências deposicionais de segunda ordem que compõe a Megassequência Paleozoica na Bacia do Amazonas.

- A SEQUÊNCIA ORDOVÍCIO-DEVONIANA registra o estágio inicial de deposição na sinéclise e representa a primeira sequência de segunda ordem que incorpora a Megassequência Paleozoica, com um caráter pulsante transgressivo-regressivo. Ela apresenta alternâncias de sedimentos glaciais e marinhos, com ingressões de leste para oeste, jazendo em *onlap* sobre o Arco de Purus, que impedia a conexão com a Bacia do Solimões. Para leste, a sedimentação ultrapassou a região do atual Arco de Gurupá (então inexistente), e se conectou com as bacias do noroeste africano. As rochas dessa sequência compõem o Grupo Trombetas (CUNHA et al., 2007), que abrange as seguintes

formações: Autás Mirim, Nhamundá, Pitinga, Manacapuru e Jatapu (antigo Membro Jatapu, da Formação Maecuru do Eodevoniano).

- A SEQUÊNCIA DEVONO-TOURNAISIANA representa um novo ciclo sedimentar de natureza transgressivo-regressiva na bacia, originando a deposição dos grupos Urupadi e Curuá. Esta sequência retrata um estágio deposicional marinho com incursões glaciais, extensivas às bacias norte-africanas e ainda sem conexão direta com a Bacia do Solimões, a oeste (onde, no entanto, existem estratos equivalentes). O Grupo Urupadi abrange as formações Maecuru e Ererê (CAPUTO et al., 1984). Sobreposto ao Grupo Urupadi, e após um pequeno pulso regressivo, seguiu-se a deposição de espessa seção sedimentar representada pelo Grupo Curuá (CUNHA et al., 2007), o qual contempla as formações Barreirinha, Curiri e Oriximiná. Caracteriza-se por ser a segunda sequência de segunda ordem que incorpora a Megassequência Paleozoica.

- A SEQUÊNCIA NEOVISEANA abrange unicamente a Formação Faro que caracteriza-se por arenitos e pelitos flúvio-deltaicos e litorâneos com influência de tempestades. O topo desta sequência é afetado pelo recuo do mar associado à orogenia Eo-Herciniana, a qual proporcionou um extenso processo erosivo nessa sequência (CUNHA et al., 2007).

- A SEQUÊNCIA PENSILVANIANO-PERMIANA é constituída pelas formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá, reunidas no Grupo Tapajós. Esta sequência se iniciou após um hiato temporal de cerca de 15 milhões de anos, marcando um novo ciclo deposicional de natureza transgressivo-regressiva que tomou lugar na Sinéclise do Amazonas, durante o Neocarbonífero. Esta é a última sequência de segunda ordem que compõe a Megassequência Paleozoica da trama estratigráfica da bacia (CUNHA et al., 2007).

Após a longa história de deposição paleozoica, a bacia sofreu processos distensivos, os quais foram responsáveis pelo preenchimento ígneo na forma de enxames de diques e soleiras de diabásio. Dentre os mais importantes, incluem-se os diques permo-jurássicos aflorantes na porção ocidental da bacia, e os diabásios juro-triássicos Cassiporé, no Amapá, e Penatecaua, na borda norte da bacia (Thomaz Filho et al., 1974, apud CUNHA, 2007).

Após a atuação dos esforços compressivos relacionados ao Diastrofismo Juruá, ocorreu um relaxamento tectônico seguido da implantação de novos ciclos deposicionais representados pela outra unidade de primeira ordem da bacia, denominada Megassequência Mesozoico-Cenozoica, constituída pelas sequências Cretácea e Terciária. Estas, em conjunto, constituem o Grupo Javari (Eiras et al.,1996), então representado pelas formações Alter do Chão, Solimões e Marajó.

II.6.1 Litoestratigrafia do intervalo estudado

O presente estudo tem como parâmetro básico os conceitos relacionados a Estratigrafia de Sequências, entretanto neste tópico serão abordadas as unidades litoestratigráficas formais enraizadas na bibliografia como referência as sequências propostas no intervalo analisado, ou seja, o Devoniano. Na figura 7apresenta-se a evolução das cartas estratigráficas da Bacia do Amazonas ao longo dos anos.

De acordo com a carta estratigráfica da Bacia do Amazonas (CUNHA et al., 2007), publicada no Boletim de Geociências da Petrobrás (figuras 8 e 9), no intervalo estudado encontra-se a parte superior do Grupo Trombetas (siluro-devoniano), o Grupo Urupadi (eo-mesodevoniano) e parte do Grupo Curuá (neodevoniano) e suas respectivas formações e membros.

1.6.1.1 Grupo Trombetas

Este grupo foi inicialmente definido como uma formação por Derby (1978) para as rochas silurianas que ocorrem no rio Trombetas (PASTANA, 1999). Posteriormente, utilizou-se o termo Grupo Trombetas para defini-lo (PASTANA, 1999). Segundo a última carta estratigráfica da Bacia do Amazonas por Cunha et al. (2007), o Grupo Trombetas compreende as formações Autás Mirim, Nhamundá, Pitinga, Manacapuru e Jatapu, sendo que somente estas três últimas formações estão inseridas no intervalo analisado no atual estudo.

A Formação Pitinga é composta por folhelhos e diamictitos marinhos de idade neossiluriana (Llandovery médio – Pridoli inferior). A Formação Manacupuru é constituída por arenitos e pelitos neríticos neossilurianos-eodevonianos (Ludlow Superior – Lochkoviano Inferior). A Formação Jatapu contém arenitos e siltitos marinhos parálicos, datados através da palinologia como de idade lochkoviana a eo-emsiana (MELO e LOBOZIAK, 2003).

1.6.1.2 Grupo Urupadi

O Grupo Urupadi (eo-mesodevoniano) foi descrito inicialmente por Caputo em 1984. Este grupo abrange as formações Maecuru, composta de arenitos e pelitos neríticos a deltaicos, de idade neo-emsiana/eo-eifeliana, e Ererê, constituída por siltitos, folhelhos e arenitos neríticos, parálicos, de idade neo-eifeliana - eogivetiana (MELO e LOBOZIAK, 2003).

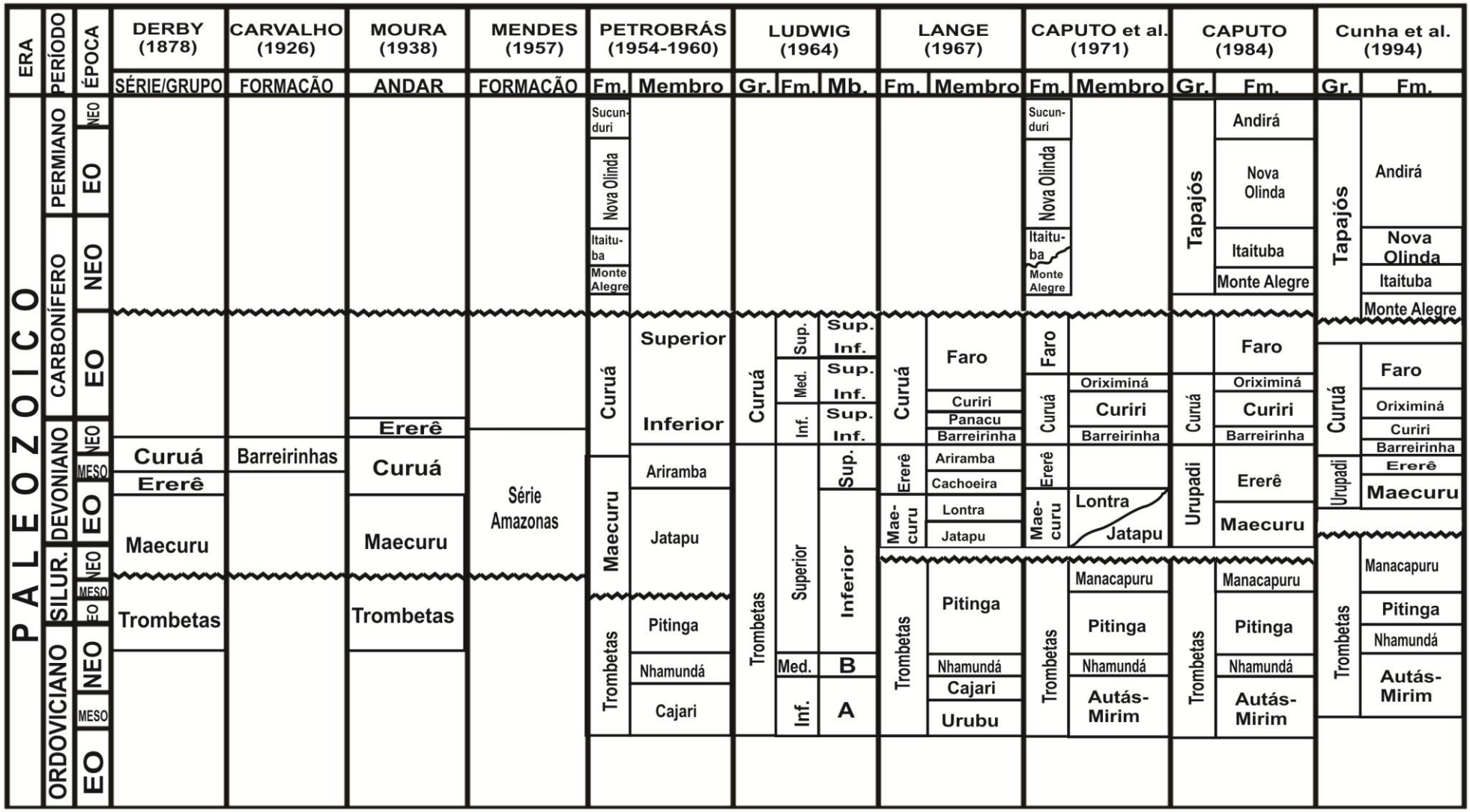
1.6.1.3 Grupo Curuá

Segundo a última carta estratigráfica da Bacia do Amazonas por Cunha et al. (2007), o Grupo Curuá (Givetiano-Tournaisiano) compreende as formações

Barreirinhas, Curiri e Oriximiná. Destas, somente a Formação Barreirinhas é utilizada no presente estudo.

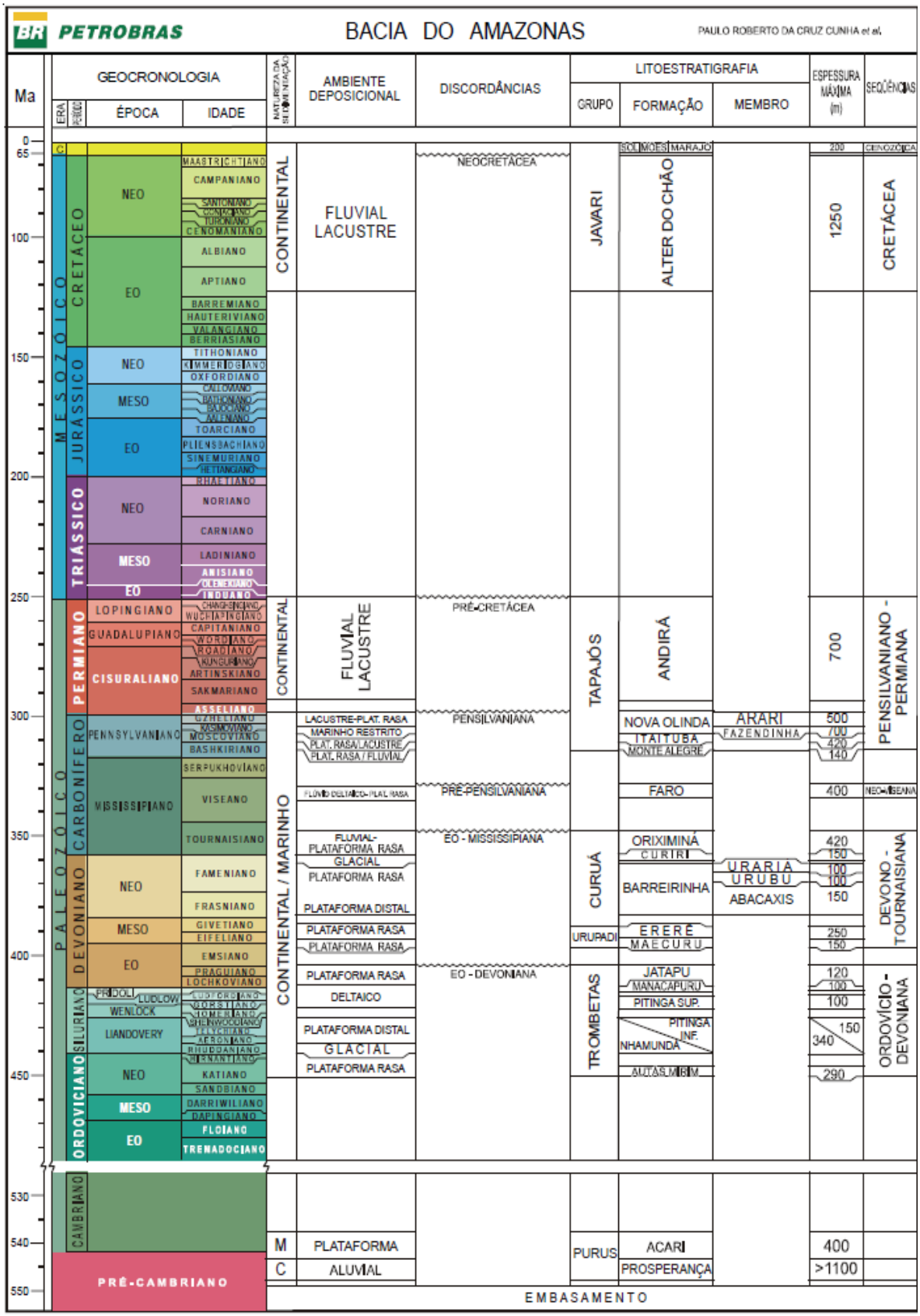
Em 1967, Lange descreveu os folhelhos radioativos de idade devoniana como um membro (PASTANA, 1999). Posteriormente, este membro foi promovido a Formação Barreirinha, reconhecida através de estudos geoquímicos como a principal rocha geradora da Bacia do Amazonas, composta por folhelhos negros, ricos em matéria orgânica e radioativos (TRIGUIS et al., 2005).

Figura 6 - Evolução da carta estratigráfica da Bacia do Amazonas, segundo diferentes autores.



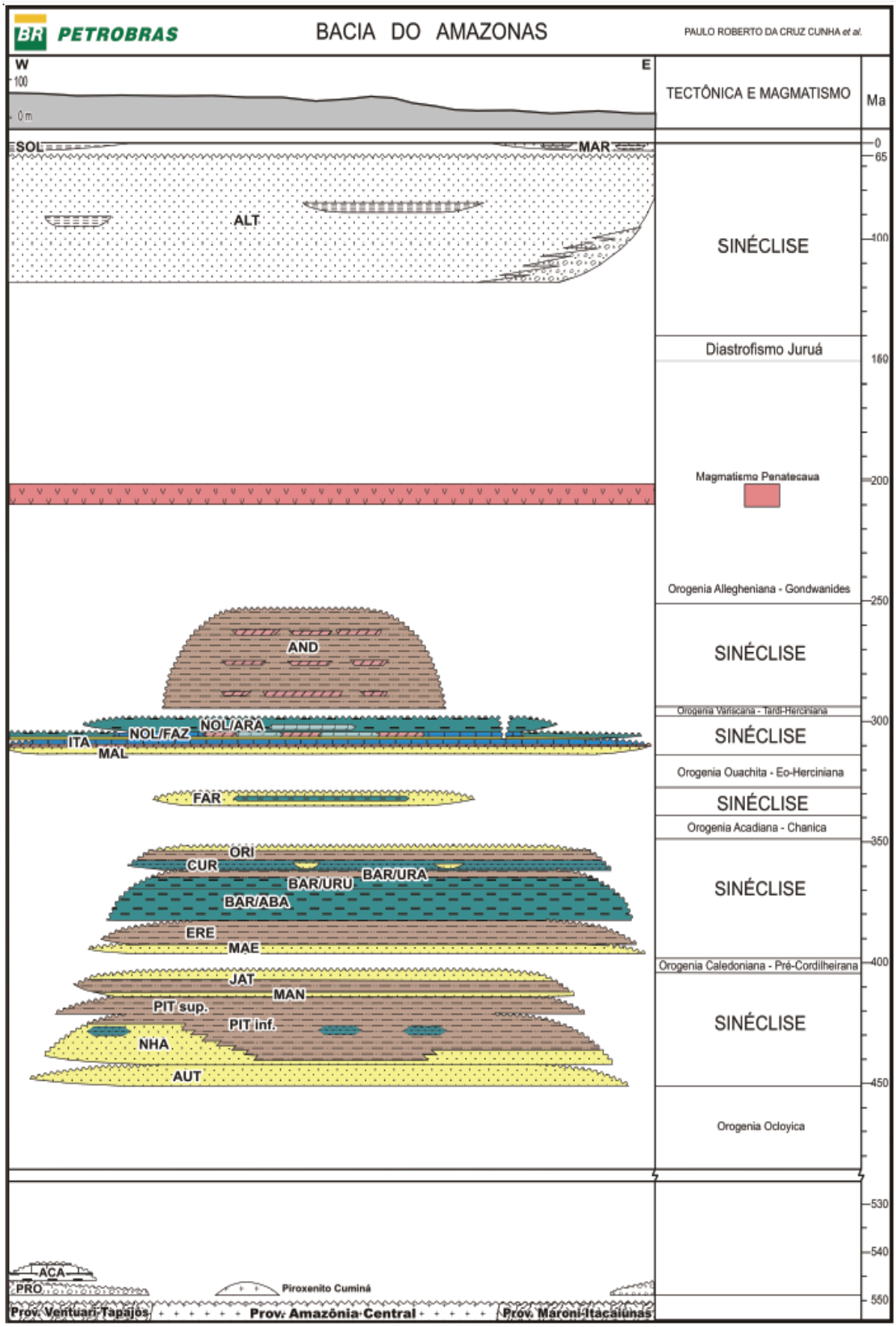
Fonte: Modificado de CUNHA, 2000

Figura 7 - Geocronologia e litoestratigrafia da Bacia do Amazonas.



Fonte: CUNHA et al., 2007.

Figura 8 - Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas.



Fonte: CUNHA et al., 2007.

1.7 **Bioestratigrafia**

A bibliografia referente aos estudos bioestratigráficos do intervalo Paleozoico da Bacia do Amazonas sugere que o estudo palinológico é a principal ferramenta utilizada para a obtenção de dados referentes às idades desse intervalo de tempo.

O estudo palinológico é considerado um dos métodos mais seguros na determinação de idades relativas, zoneamentos bioestratigráficos, determinação de paleoambientes de sedimentação e correlações entre áreas geograficamente distantes. Esporos, grãos de pólen, acritarcos, prasinófitas, dinoflagelados, quitinozoários, escoleodontes, microforaminíferos e esporos de fungos são considerados palinomorfos (CARDOSO, 2005).

O primeiro trabalho bioestratigráfico desenvolvido para o Paleozoico da Bacia do Amazonas foi realizado por Lange (1967, apud CARDOSO, 2005). Neste trabalho, foram definidos sete intervalos informais (I a VII, em ordem ascendente) com base em acritarcos e quitinozoários do Siluriano e Devoniano.

Daemon e Contreiras (1971, apud CARDOSO, 2005) adicionaram novas unidades para englobar todo o Paleozoico (intervalos de I a XVI, em ordem ascendente).

Quadros (1982, apud CARDOSO, 2005) estabeleceu cenozonas de acritarcos e quitinozoários do Siluriano, Devoniano e Carbonífero da Bacia do Amazonas e as correlacionou com a bacia vizinha do Parnaíba. O estudo indicou um ciclo de sedimentação contínua entre o Siluriano e o Devoniano da bacia.

Grahn e Melo (2003) com base em quitinozoários definiram que a unidade basal do Grupo Trombetas, a Formação Autás-Mirim datada do Ordoviciano Superior, pode ter o limite Siluriano/Ordoviciano traçado aproximadamente no topo desta sequência.

Melo e Loboziak (2003) refinaram as idades do Devoniano ao Carbonífero da Bacia do Amazonas com base em biozonas de miosporos da Europa Ocidental e América do Norte, concluindo que, de forma geral, estas biozonas são aplicáveis a maioria das seções equivalentes da Bacia do Amazonas, pois a sucessão de primeiras aparições de espécies comuns é a mesma em todas as áreas.

Embasado no estudo de quitinozoários, Grahn (2005) atribuiu idades para a parte inferior e superior da Formação Pitinga, além das formações Manacapuru e Jatapu.

As idades encontradas por Melo e Loboziak (2003) foram adotadas no presente trabalho para definir os intervalos de tempo compreendidos entre cada sequência estratigráfica delimitada no período do Devoniano (tabela 1). Para a datação da sequência estratigráfica que abrange parte do Siluriano Superior, mais especificamente a Formação Pitinga, foi utilizado o intervalo de tempo proposto por Grahn (2005).

Tabela 1 - Unidades litoestratigráficas da Bacia do Amazonas e suas respectivas idades.

Formação	**Idade**	**Autor**
Barreirinhas (Mb. Abacaxis)	Eo-frasniano a Eo-mesofameniano	Melo e Loboziak (2003)
Ererê	Eifeliana a Eo-givetiana	Melo e Loboziak (2003)
Maecuru	Neo-emsiana a Eo-eifeliana	Melo e Loboziak (2003)
Jatapu	Lockhoviano a Eo-emsiana	Melo e Loboziak (2003)
Manacapuru	Ludlow Superior a Lockhoviano Inferior	Grahn (2005)
Pitinga Superior Pitinga Inferior	Ludlow a Eo-Pridoli Landovery a Eo-Wenlockiano	Grahn (2005)

Fonte: O autor, modificado de MELO e LOBOZIAK, 2003 e GRAHN, 2005.

2 **ESTRATIGRAFIA MODERNA**

2.1 **Introdução**

Tida por alguns autores como o paradigma revolucionário mais recente no campo da Geologia Sedimentar, os conceitos da Estratigrafia de Sequências surgiram no final da década de sessenta impulsionados pelos avanços da sismoestratigrafia. A partir de então, os estratígrafos se depararam com um novo modelo de interpretação para o estudo em bacias sedimentares, um modelo calcado na estratigrafia por eventos, holística e de caráter universal: a Estratigrafia de Moderna. Antes dessa “revolução”, os estudos acerca da Estratigrafia baseavam-se, pura e simplesmente, na aplicação do Código de Nomenclatura Estratigráfica (DELLA FÁVERA, 2001) com ênfase na litologia e no empilhamento das rochas sedimentares ao longo do tempo geológico, fundamentos que tangenciam praticamente os mesmo conceitos da Geologia Histórica.

A partir do advento dos conceitos a respeito da estratigrafia moderna, alguns novos termos passaram a fazer parte do vocabulário dos estratígrafos, como por exemplo: sequência, parassequência e tratos de sistema. Destes, sem dúvida, o termo *sequência* foi o ponto de maior discussão entre os intelectuais da área.

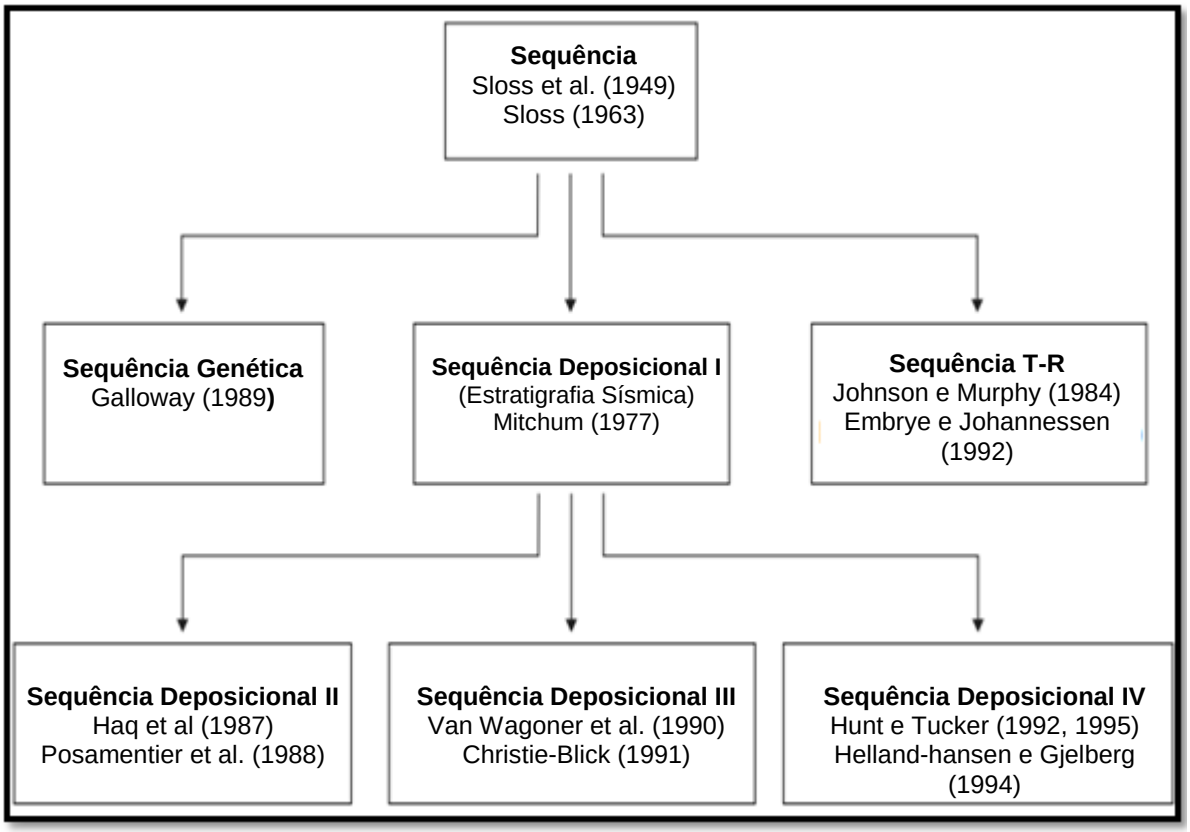
Com o intuito de subdividir sucessões litológicas cíclicas, o termo sequência sofreu alterações desde a sua concepção original, definida por Sloss em 1949 até o final do último século (figura 10). Com isso, a comunidade científica se deparou com uma série de modelos, cada um com seus termos próprios e suas peculiaridades, dificultando a comunicação de ideias e resultados.

Um dos principais pontos de controvérsia entre os autores refere-se à identificação dos limites de uma sequência deposicional. Por exemplo, a partir de quais características deve-se marcar em uma linha sísmica ou em um perfil geofísico uma *sequência*? A figura 11, em alusão a figura 10, apresenta a ideia de alguns autores quanto ao correto limite responsável pela delimitação de uma sequência deposicional.

Embora essa discussão sobre os limites de uma sequência deposicional tenha perdurado (e ainda perdure!) durante tantos anos, atualmente não existe um consenso sobre um modelo universal único a ser aplicado em todas as bacias sedimentares. Catuneanu (2006) chama a atenção dos estratígrafos para se evitar a polêmica em torno dos temas mais controversos da Estratigrafia de Sequências. Conclama a comunidade geológica para utilizá-la como uma ferramenta de análise estratigráfica, ou seja, apenas como uma metodologia. Cada modelo de sequência pode funcionar melhor em determinadas circunstâncias e não há um modelo universalmente preferível ou aplicável a toda a gama de estudos.

As abordagens dominantes na literatura da estratigrafia de sequência são aquelas popularizadas pela escola da Exxon (Posamentier e Vail, 1988; Van Wagoner et al., 1990; Posamentier e Allen, 1999), por Galloway (1989) e por Embry e Johannessen (1992).

Figura 9 - Evolução do termo sequência com o passar dos anos, desde a sua proposta original, definida por Sloss em 1962 e redefinida por diversos autores.



Fonte: Modificado de CATUNEANU, 2006.

Figura 10 - Modelos para delimitação de uma sequência sedimentar, a partir da identificação de seus tratos de sistemas e posicionamento de seus limites, de acordo com os autores citados na Figura 10.

Modelo de Sequência / Eventos	Sequência Deposicional I	Sequência Deposicional II	Sequência Deposicional III	Sequência Deposicional IV	Sequência Genética	Sequência T - R
Final da Transgressão		TSMA	TSMA inicial	TSMA	TSMA	TSR
Final da Regressão	Sequência	TST	TST	TST	TST	TST
Final da queda no nível de base		TSMB final	TSMB	TSMB	TSMB final	TSR
Início da queda no nível de base		TSMB inicial	TSMA final	TSMP	TSMB inicial	
		TSMA	TSMA inicial	TSMA	TSMA	

tempo

Limite de sequência
Limite entre os tratos de sistemas
Divisão dentro de um mesmo trato de sistema

TSMA – Trato de sistema de mar alto
TST – Trato de sistema transgressivo
TSMB – Trato de sistema de mar baixo
TSMP – Trato de sistema de margem de plataforma
TSR – Trato de Sistema Regressivo

Fonte: Modificado de CATUNEANU, 2006.

2.2 **Aplicação dos conceitos da estratigrafia moderna**

A Estratigrafia de Sequências pode ser aplicada tanto em bacias da margem continental – com uma expressão morfológica de plataforma, talude e bacia, quanto em situações onde faltam esses elementos, como na Bacia do Amazonas, considerada uma bacia intracratônica em rampa. A estratigrafia de sequências foi realmente idealizada para o primeiro caso (DELLA FÁVERA, 2001).

As sequências nos domínios intracratônicos são geralmente finas e pobremente diferenciadas comparadas às suas equivalentes da margem passiva. Lentas taxas de subsidência, baixo gradiente deposicional e pequenas profundidades de lâminas d'água, coletivamente resultam em diminuto espaço de acomodação de sedimentos nestas bacias. As sequências são extensas e delgadas, raramente se tem reconhecido geometrias progradacionais e as discordâncias erosivas geralmente têm um relevo mínimo (Lindsay et al., 1993, apud BERGAMASCHI 1999). Durante estágio de mar baixo, nenhum ou pouco espaço de acomodação pode estar disponível para acumulação de sedimentos e depósitos de nível de mar baixo são pobremente desenvolvidos, particularmente restritos e de difícil determinação. Assim, sucessões intracratônicas geralmente compreendem depósitos transgressivos e de mar alto estaqueados, separados por discordâncias ou paraconformidades praticamente planares. Além disso, superfícies de inundação comumente coincidem com os limites de sequências.

Em termos de sismoestratigrafia em bacias intracratônicas, a falta de padrões de reflexão que diferem do padrão plano-paralelo acresce o problema da alta velocidade das seções e, consequentemente, o pequeno número de refletores. Assim, discordâncias de ordem diferente das sequencias de 2ª ordem serão de difícil percepção. Outro problema a ser considerado é a ocorrência de soleiras e diques vulcânicos na seção paleozoica, o que pode causar erros de interpretação (*pitfalls*), uma vez que poderiam ser confundidas com possíveis feições sismoestratigráficas (DELLA FÁVERA, 2001).

Mesmo com as dificuldades citadas anteriormente em se estabelecer limites com discordâncias ou paraconformidades para interpretar sequências deposicionais segundo a concepção da Escola da Exxon, muitos trabalhos científicos fizeram uso desta metodologia para delimitar as sequências em bacias intracratônicas. São os

casos de Bergamaschi (1999) na Bacia do Paraná e Cunha (2000) na Bacia do Amazonas.

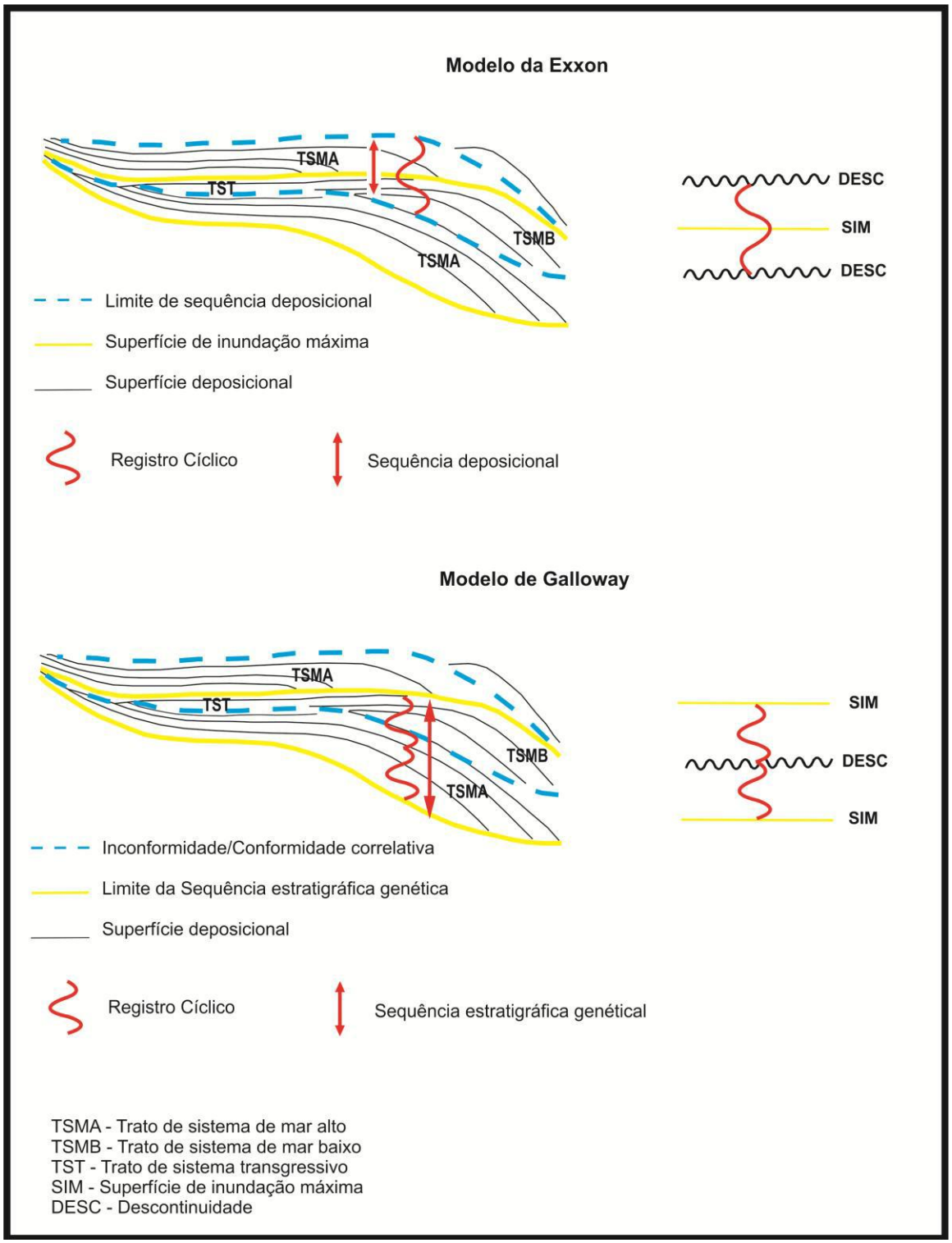
Entretanto, Della Fávera (2001) aconselha o uso da sequência genética de Galloway (1989) como a ferramenta ideal para delimitar sequências estratigráficas em bacias intracratônicas, principalmente em intervalos de tempo onde ocorre a invasão do mar sobre o continente. O trato de sistema mais característico nestas bacias durante períodos de transgressão marinha é o trato de sistema transgressivo, além disso, as superfícies de inundação máxima são relativamente fáceis de serem identificadas em perfis geofísicos. Albuquerque (2000) fez uso desta técnica para o estudo de Devoniano na Bacia do Parnaíba.

Existem muitas similaridades entre a sequência estratigráfica genética proposta por Galloway (1989) e a sequência deposicional definida inicialmente por Mitchum (1977), utilizada na maioria dos trabalhos que envolve os conceitos da estratigrafia moderna (figura 12). Na verdade, os conceitos que envolvem a sequência estratigráfica genética são praticamente idênticos as parassequências de Van Wagoner et al. (1988). Tais modelos têm uma origem conceitual inspirada no trabalho de Frazier (1974), porém cada um enfatiza os elementos mais importantes enquadrados em seus objetivos de estudo.

Van Wagoner et al. (1990) desaconselha o uso da sequência estratigráfica genética, pois argumenta que uma discordância é uma quebra real de uma sequência, diferentemente de uma superfície de inundação máxima. Entretanto, Posamentier e Allen (1999) defendem que durante uma análise estratigráfica deve-se escolher a teoria mais simples, que melhor se aplica ao contexto em que a bacia está inserida.

Portanto, tomando-se como base as duas principais metodologias citadas acima, a atual dissertação abordará os conceitos da Estratigrafia Moderna utilizando a metodologia proposta por Galloway em 1989 – a sequência estratigráfica genética, uma vez que o intervalo de tempo estudado é caracterizado por sucessivos eventos de invasão do mar sobre o interior continental e, consequentemente, apresenta a superfície de inundação marinha bem caracterizada e fácil de ser reconhecida nos perfis de raios gama, enquanto que discordâncias só poderiam ser inferidas ou postuladas neste contexto deposicional praticamente plano.

Figura 11 - Comparação entre os limites de sequências como observados no modelo da Exxon e no modelo de Galloway.



Fonte: Modificado de Albuquerque, 2000.

2.2.1 A Sequência Genética de Galloway

Proposto inicialmente para bacias marginais, o conceito básico do modelo de Galloway foi aplicado no atual trabalho, utilizando-se camadas marinhas na correlação e análise regional de fácies integrada. Bacias em rampa, como a Bacia do Amazonas, à semelhança das bacias marginais são caracterizadas por episódios repetitivos de progradação pontuada, por períodos de transgressão e inundação da plataforma deposicional. As unidades são limitadas por seções condensadas as quais registram a superfície de máxima inundação da bacia (ALBUQUERQUE, 2000).

A Estratigrafia Genética proposta por Galloway é uma metodologia de aplicação dos conceitos inerentes ao seu predecessor Frazier (1974), sobre os episódios deposicionais, os quais serviram também como base para os trabalhos iniciais da Exxon. Frazier (1974) reconheceu os episódios e os complexos deposicionais como as principais subdivisões estratigráficas de tempo e de rocha, no preenchimento e na história de uma bacia.

A sequência sedimentar genética é o produto sedimentar de um registro deposicional. Cada sequência é limitada no topo e na base por uma superfície de inundação máxima e entre seus limites podem ocorrem padrões progradacionais, retrogradacionais e agradacionais. O trato de sistemas transgressivo, bem como os tratos de sistemas de mar alto e de mar baixo são passíveis de identificação, entretanto ressalta-se a dificuldade em se determinar o trato de sistema de mar baixo em bacias intracratônicas, uma vez que estes são pobremente desenvolvidos e particularmente restritos neste tipo de ambiente.

As seções condensadas, as quais são responsáveis por definirem os limites de cada sequência deposicional, refletem lentas taxas de deposição ao longo do tempo. Elas são formadas durante as transgressões marinhas, quando o mar atinge o seu maior patamar de invasão ao continente, inundando-o. Apesar de se depositarem durante um longo período tempo, o seu registro sedimentar é pouco espesso e apresentam um predomínio de sedimentos pelágicos, geralmente folhelhos radioativos com um conteúdo fossilífero bem desenvolvido, datáveis

acurada e facilmente, que geralmente incorpora formas planctônicas úteis na correlação cronoestratigráfica de alta resolução.

A superfície produzida durante um período de inundação máxima possui camadas marinhas facilmente reconhecíveis, correlacionáveis e mapeáveis usando-se desde perfis de poços até dados sísmicos ou de afloramentos. A superfície é bem desenvolvida através da porção intermediária dos tratos de fácies onde os sistemas marinhos se interdigitam, podendo ser extrapolada para o interior de seções não marinhas e marinhas profundas (GALLOWAY, 1989).

As superfícies de ravinamento produzidas pelo retrabalhamento da zona praial e pela plataforma, durante a transgressão, podem ser tratadas como marcos regionais, os quais são utilizados para correlacionar os limites de sequências e mapear sistemas deposicionais. Isto porque a máxima inundação e o hiato deposicional correspondente seguem imediatamente a transgressão.

3 **ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA**

3.1 **Marcos estratigráficos**

Os marcos estratigráficos têm como propriedade registrar importantes eventos deposicionais e foram identificadas neste trabalho através de sua expressiva e repetitiva forma, correspondendo a picos de radioatividade registrados nos perfis de raios gama.

Os perfis elétricos de poços representam registros das propriedades físicas das rochas ao longo dos poços. Podem ser usados para interpretações geológicas como: análise de fácies, eletrofácies, estimativa de porosidade e saturação de fluidos, interpretação litológica e correlações estratigráficas. Apresentam vantagens e desvantagens em relação aos dados de afloramentos. A maior vantagem é que proporcionam uma informação contínua de uma seção relativamente espessa e a desvantagem é que, por ser uma medida indireta de informação geológica, não fornecem o nível de detalhe real das rochas.

Dentre os perfis elétricos, o perfil de raios gama é o mais utilizado em análises estratigráficas, pois reflete facilmente os ciclos deposicionais característicos da Estratigrafia de Sequências através da medição da radioatividade natural das rochas. Em rochas sedimentares, o mesmo geralmente reflete o conteúdo de pelitos, uma vez que é neste material que os elementos radioativos (U, K e Th) tendem a se concentrar. Desta forma, os maiores picos nos perfis de raios gama indicam uma alta argilosidade, feição característica em superfícies de inundação marinha que são utilizadas como superfícies chave neste estudo. Sedimentos onde há pouca argilosidade apresentam um nível baixo de radioatividade, exceto em casos que ocorram, por exemplo, cinza vulcânica, seixos de granitos radioativos, água de percolação contendo sais de potássio dissolvidos ou a presença de K-feldspato. A resposta de um perfil de raio gama é proporcional à concentração em peso de material radioativo na unidade de rocha estudada. Enfim, tal perfil permite interpretar indiretamente a variação no tamanho dos grãos e consequentemente a energia deposicional a partir da observação na variação da radioatividade característica de cada litologia.

No siluro-devoniano da Bacia do Amazonas, os marcos estratigráficos estão notavelmente relacionados às inundações marinhas, sendo caracterizados como folhelhos radioativos em seções condensadas. As superfícies de inundação marinha são bem desenvolvidas neste período uma vez que a Bacia do Amazonas, durante esta época encontrava-se em um contexto paleogeográfico caracterizado por sucessivos eventos de recuo da linha de costa em direção ao continente (transgressões marinhas). Desta forma, as superfícies que marcam as inundações marinhas foram escolhidas para representar os limites das sequências de terceira ordem mapeadas.

A partir do exposto acima, os marcos estratigráficos foram nomeados com as letras do alfabeto (A, B, C, D e E). Cada letra representa uma superfície de inundação marinha no intervalo estudado e, consequentemente, um limite de sequência. A letra E representa a superfície de inundação máxima da Formação Barreirinhas (neodevoniana), utilizada como o *datum* para as seções estratigráficas.

3.2 **Definição das sequências**

A principal razão para a utilização da metodologia de Galloway deve-se ao fato que o conteúdo rochoso compreendido no intervalo estudado teve a sua sedimentação relacionada às transgressões marinhas que faziam parte do contexto paleogeográfico nessa época da história da Terra. Nesse contexto, as superfícies de inundação máxima, representativas de eventos cronoestratigráficos, destacam-se nos perfis de raio gama, sendo as mesmas de fácil reconhecimento.

De acordo com a metodologia proposta por Galloway (1989) – sequência estratigráfica genética, utilizada neste estudo, o intervalo estudado abrange as superfícies de inundação marinha desde o Neossiluriano até o Neodevoniano, abrangendo as formações Pitinga, Manacapuru, Jatapu, Maecuru, Ererê e Barreinhas.

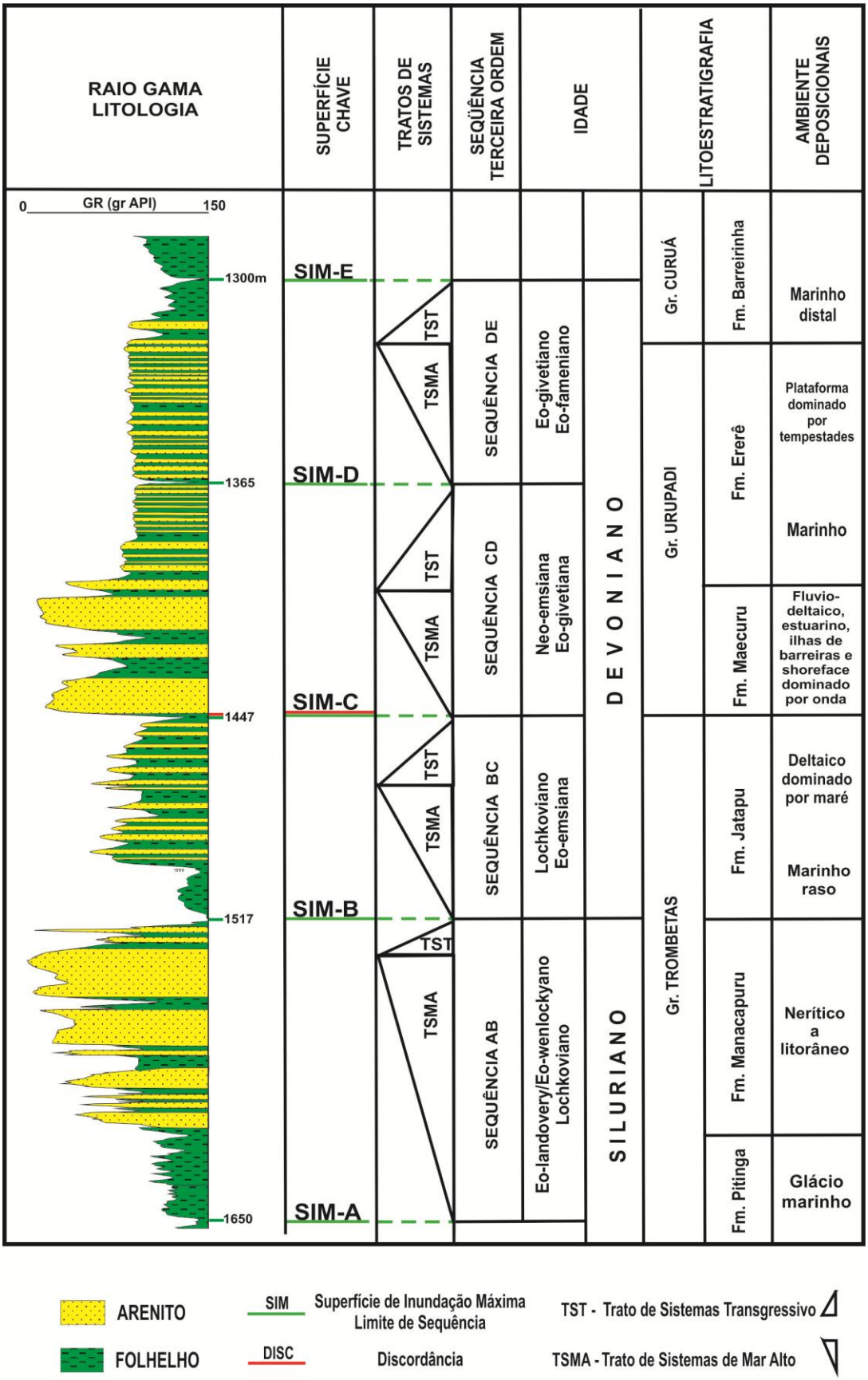
O intervalo siluro-devoniana estudado foi subdividido em quatro sequências (AB, BC, CD e DE) limitadas na base e no topo por superfícies de inundação

marinha, nomeadas estratigraficamente da base para o topo desde a letra A até a letra E, conforme pode ser visualizado no perfil de referência (figura 13).

No intervalo estudado reconheceu-se a discordância localizada entre o topo da Formação Jatapu e a base da Formação Maecuru proposta por Cunha et al. (2007), relacionada à Orogenia Caledoniana (ou Pré-Cordilheriana). Esta discordância é utilizada como limite de sequência de segunda ordem na Bacia do Amazonas por outros autores, de acordo com as definições da Estratigrafia de Sequências (senso Vail, 1987; Posamentier et al., 1988; Van Wagoner et al., 1988). Entretanto, segundo os conceitos da sequência estratigráfica genética, utilizada neste estudo, esta quebra significativa na sedimentação não representa um limite de sequência. Desta forma, tal intervalo faz parte da sequência CD, pois encontra-se entre as superfícies de inundação C e D.

Cada sequência é constituída por ciclos regressivo-transgressivos assimétricos, representados pelo trato de sistema de mar alto no contexto regressivo e pelo trato de sistema transgressivo em contexto transgressivo. Em alguns intervalos a superfície transgressiva confunde-se com a superfície de inundação marinha, principalmente quando a última está localizada na base da dos folhelhos radioativos que constituem seções condensadas. Sendo assim, em face da escala adotada, não há acentuada disparidade entre os limites de sequência mapeados e o conceito adotado na delimitação das mesmas. O trato de sistema de mar baixo é de difícil determinação em bacias intracratônicas, principalmente quando trabalha-se somente com a análise de perfis elétricos, dessa forma este não foi caracterizado no intervalo estudado.

Figura 12: Perfil de referência estratigráfica, poço 1-AM-1-AM.



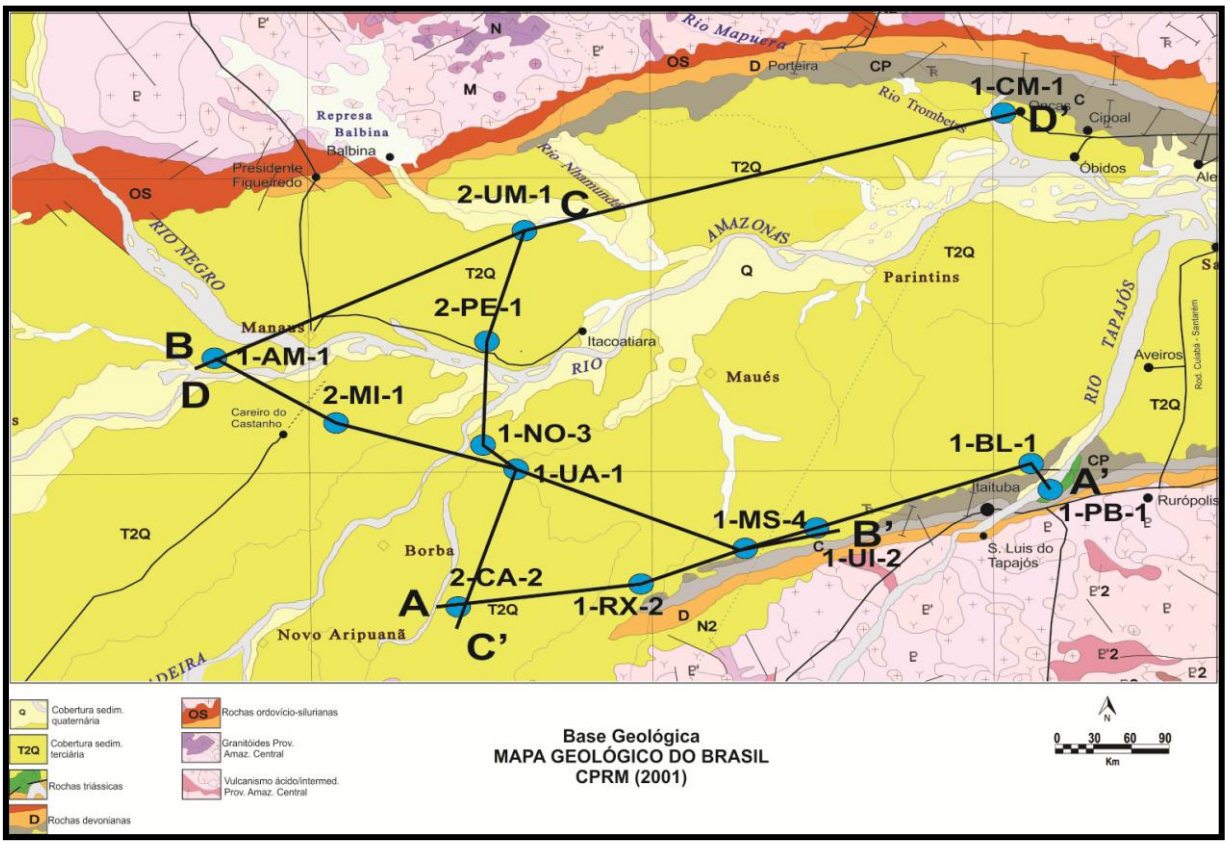
Fonte: O autor.

3.3 **Seções e mapas estratigráficos**

No atual estudo foram utilizadas as informações de 13 poços exploratórios, os quais encontram-se distribuídos por toda a extensão bacia, mas que concentram-se na porção centro-oeste conforme mostra a figura 14.

A partir das informações contidas em cada poço, foram elaborados mapas estratigráficos (isópacas, isólitas de areias e porcentagem de areias) para o todo intervalo estudado e para cada sequência sedimentar reconhecida.

Figura 13: Mapa da Bacia do Amazonas com a localização dos poços e das seções utilizadas.



Fonte: Modificado de CPRM, 2001.

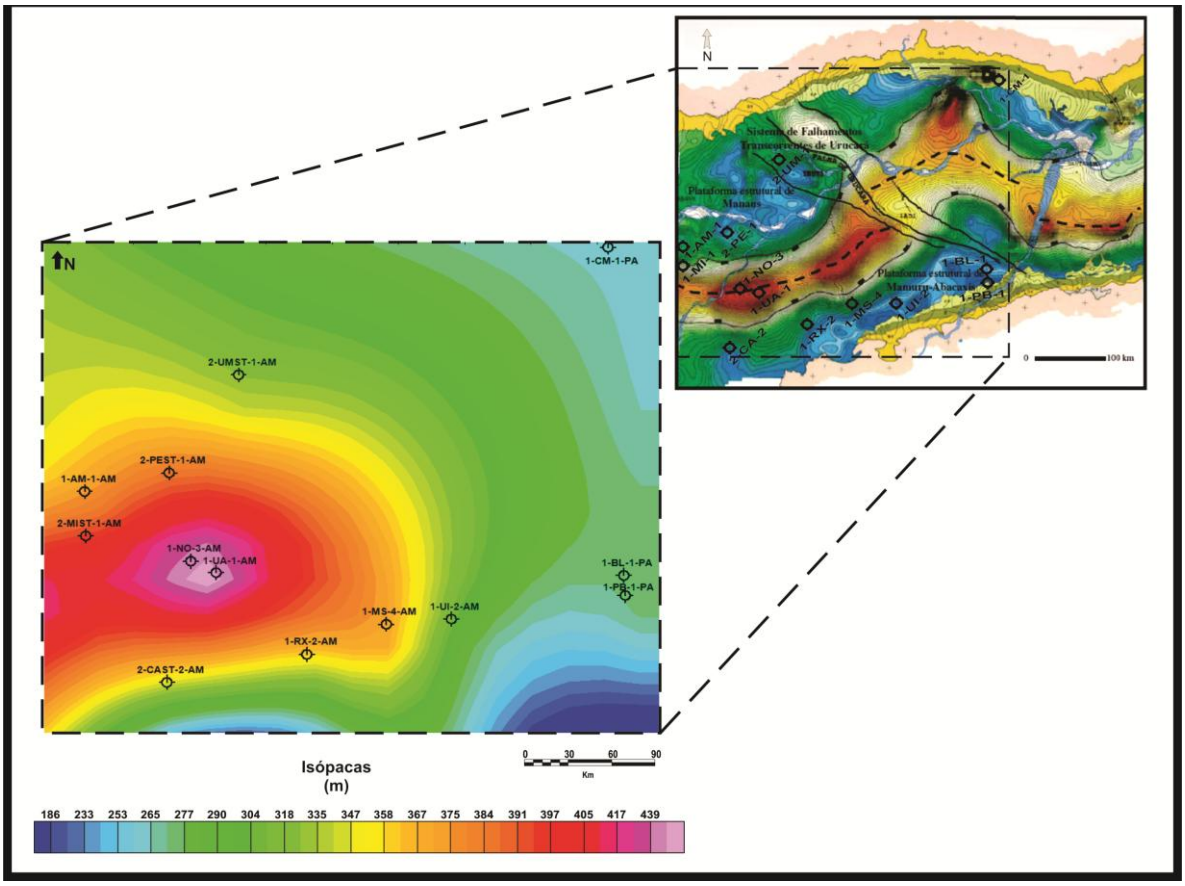
A pequena quantidade de poços exploratórios na Bacia do Amazonas que registra o intervalo siluro-devoniano é um fator de dificuldade para a elaboração de mapas estratigráficos. Além disso, os poços que atravessam o intervalo de interesse

possuem uma distribuição irregular. Apesar desses fatores negativos, o mapa de isópacas do intervalo estudado mostrou-se em consonância com o mapa gravimétrico regional da bacia, principalmente nas regiões com uma maior cobertura de poços, como mostra a figura 15.

A partir da localização dos poços foram criadas quatro seções (A-A', B-B', C-C' e D-D') para a correlação entre os perfis de raio gama, como pode ser visto nas figuras 16, 17, 18 e 19.

A partir da integração dessas duas ferramentas (mapas estratigráficos e seções) espera-se alcançar uma interpretação mais próxima da realidade para compreender o preenchimento sedimentar da Bacia do Amazonas.

Figura 14: Comparação entre o mapa de isópacas elaborado neste trabalho e o mapa de anomalia Bouguer (COSTA, 2002) ao fundo. Em ambas as figuras a maior profundidade na bacia corresponde aos tons avermelhados.



Fonte: O autor.

3.3.1 Seção A-A’

A seção A-A’ (figura 16) possui orientação SW-NE e localiza-se próxima e paralela ao limite sul da bacia. Cinco poços compõem esta seção e encontram-se bem próximos a borda da bacia, são eles: 2-CAST-2-AM, 1-RX-2-AM, 1-MS-4-AM, 1-UI-2-AM, 1-BL-1-PA e 1PB-1-PA.

Os perfis de raios gama dos poços 2-CAST-2-AM e 1-PB-1-PA não abrangem todo o intervalo de estudo, pois a superfície de inundação A, a qual representa a primeira inundação máxima do intervalo de estudo, de idade neossiluriana, não foi registrada durante a execução do perfil, porém todas as demais superfícies chave são encontradas em seus registros.

Observa-se nesta seção uma quebra no comportamento das sequências sedimentares em sua porção central. A partir do poço 2-CAST-2-AM as sequências delimitadas apresentam uma acentuada inclinação para nordeste, deslocando-se para níveis mais profundos e suas espessuras tendem a aumentar em direção ao poço 1-RX-2-AM. As sequências sedimentares seguem para níveis ainda mais profundos na parte central da seção e suas espessuras atingem os maiores valores na altura do poço 1-MS-4-AM. A partir deste poço as sequências delimitadas sofrem uma forte inclinação, desta vez para níveis mais superficiais da bacia, acarretando numa diminuição no espessamento das sequências em direção ao poço 1-UI-2-AM. Seguindo pela seção, observa-se poucas mudanças no comportamento das sequências, uma tendência cada vez mais suave em direção a níveis cada vez mais superficiais com um consequente afinamento de cada sequência sedimentar identificada, caracterizando a fisiografia em rampa que possui a bacia.

Nota-se que tanto os corpos arenosos quanto as superfícies de inundação marinha são bem desenvolvidos e fáceis de identificar nos poços localizados no depocentro (mapa de isópacas, figura 20) da seção (1-RX-2-AM e 1-MS-4-AM), justamente onde os sedimentos encontraram um maior espaço para acomodação. Em contra partida, o *pinch-out* das sequências sedimentares, observado na parte mais elevada, nordeste da seção A-A’, caracteriza intervalos cada vez menos desenvolvidos e variações menos marcantes nos perfis de raios gama.

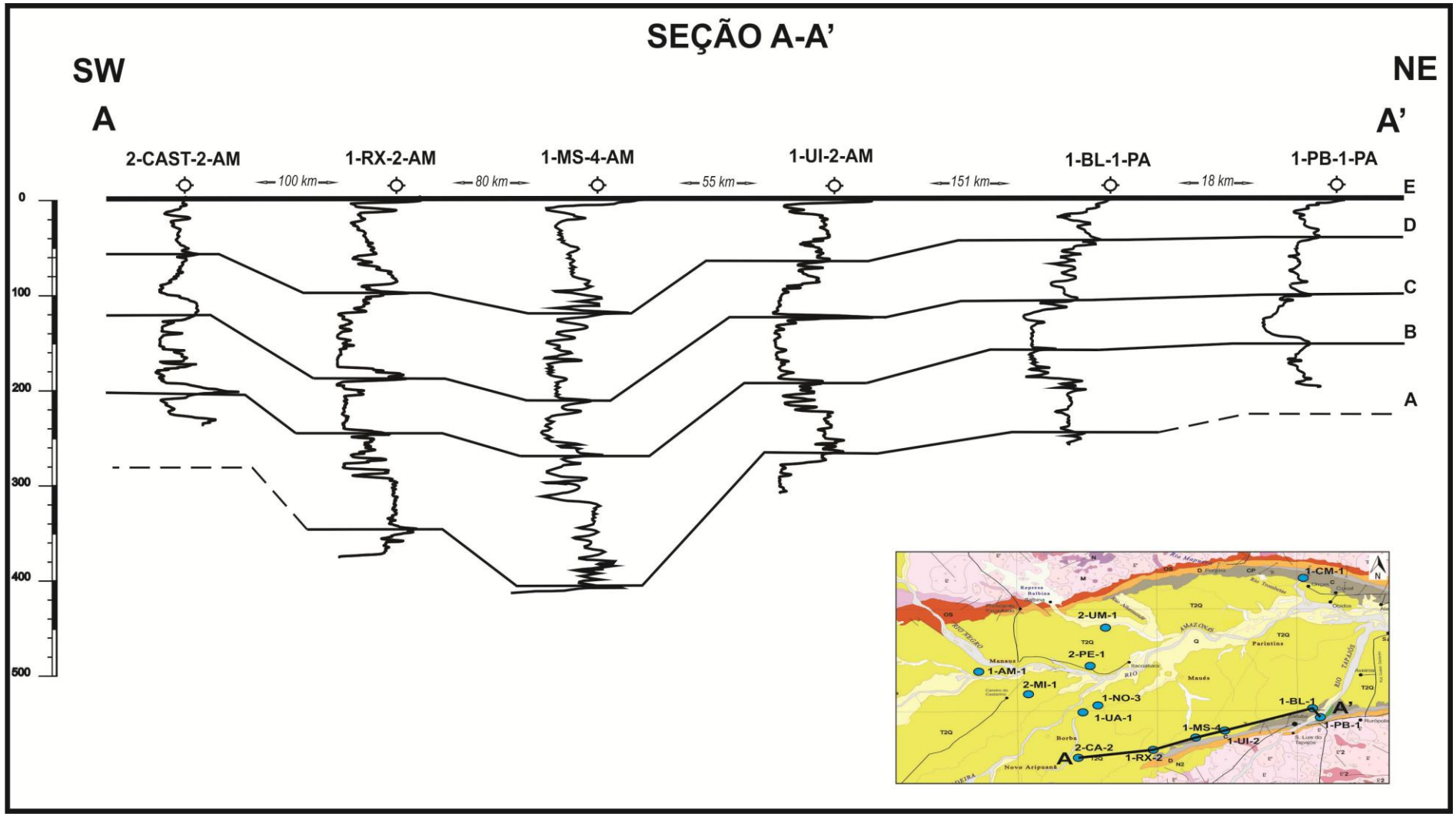
Os mapas de isólitas e de porcentagem de areias (figura 21 e 22, respectivamente) demonstram duas áreas principais de proveniência dos

sedimentos arenosos, uma localiza-se a oeste, provavelmente relacionada ao Arco de Purus, enquanto que a outra está localizada ao sul, provavelmente ligada à reativação de estruturas pretéritas devido às orogenias que aconteceram durante o Paleozoico.

Observa-se que os sedimentos pelíticos relacionados às transgressões marinhas apresentam uma tendência de se concentrarem a nordeste da seção estudada, levando a crer que essa área era a principal fonte de conexão entre o mar e o continente durante o Paleozoico.

A partir do exposto acima, entende-se que o preenchimento sedimentar, na região da seção A-A', obedeceu à morfologia de um vale preexistente a deposição do intervalo estudado, caracterizado por altos intra-bacinais nas duas extremidades da seção e uma região mais profunda no centro. Acredita-se que o evento de glaciação, reconhecidamente ocorrido durante o ordovício-siluriano, tenha sido responsável por formar tal configuração sobre a qual depositaram-se as sequências sedimentares.

Figura 15: Seção A-A’.



Fonte: O autor.

3.3.2 Seção B-B’

A seção B-B’ (figura 17) está localizada na parte centro-oeste da bacia com uma orientação NW-SE, atravessando a região mais profunda da bacia (figura 20). Os poços 1-AM-1AM, 2-MIST-1-AM, 1-UA-1-AM, 1-MS-4-AM e 1-UI-2-AM compõem esta seção.

Nesta seção apenas o perfil de raios gama do poço 1-UA-1-AM não abrange todo o intervalo de estudo, pois a superfície de inundação A representativa da primeira inundação marinha do intervalo estudado, de idade neo-siluriana, não foi registrada durante a execução do perfil.

Na parte noroeste da seção B-B’ o intervalo de estudo apresenta um comportamento muito similar entre os poços 1-AM-1-AM e 2-MIST-1-AM. A relação entre as sequências sedimentares identificadas nestes poços é praticamente sub-horizontal, típico de uma bacia com a fisiografia em rampa, com uma leve inclinação para sudeste, sendo que as espessuras das sequências identificadas no segundo poço são maiores e um pouco mais profundas em relação ao primeiro. Seguindo pela seção, ocorre um aumento na inclinação das camadas em direção a intervalos mais profundos, marcando o depocentro da seção, registrado no poço 1-UA-1-AM (figura 20). A partir do padrão geométrico das sequências, verifica-se que o espessamento das mesmas está relacionado principalmente ao espessamento da sequência DE na altura dos poços 1-UA-1-AM e 1-MS-4-AM, onde provavelmente havia melhores condições de preservação dos sedimentos.

As seções condensadas, que caracterizam superfícies transgressivas, apresentam-se mais espessas e melhor desenvolvidas a partir do poço 1-UA-1-AM em relação aos poços 1-AM-1-AM e 2-MIST-1-AM.

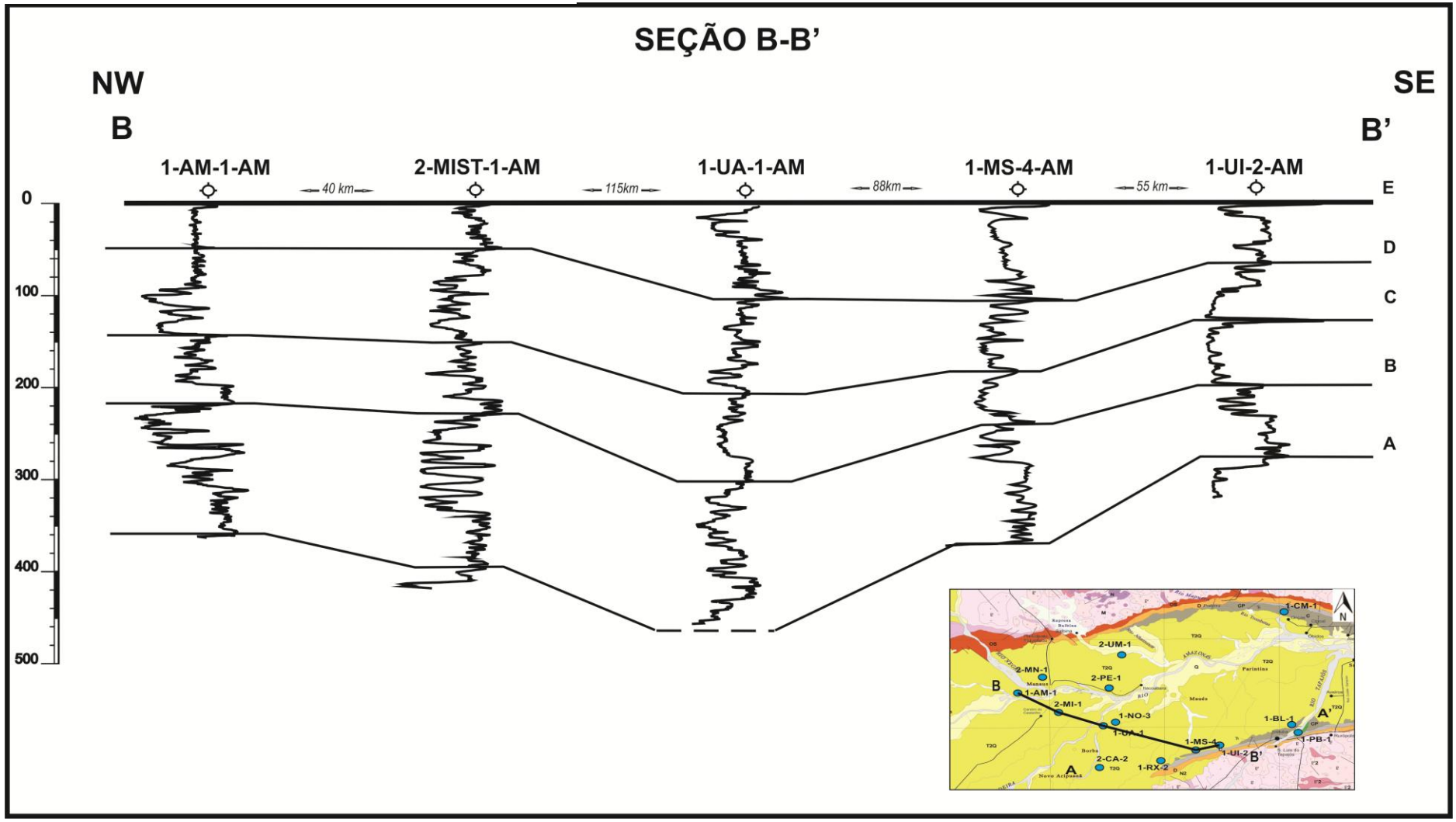
Seguindo pela seção, o intervalo estudado registrado no poço 1-MS-4-AM encontra-se em um nível mais raso comparativamente ao poço 1-UA-1-AM, desta forma a seção volta a apresentar uma inclinação das sequências e uma tendência de afinamento em suas espessuras, principalmente nas sequências AB, BC e CD. Por fim, as sequências sedimentares seguem para níveis mais superficiais em direção ao poço 1-UI-2-AM onde ocorre uma tendência geral de afinamento na espessura das sequências.

A partir da análise dos mapas de isólitas e porcentagem de areias (figuras 21 e 22, respectivamente), conclui-se que a área fonte destes sedimentos relacionada ao Arco de Purus foi mais efetiva para o preenchimento sedimentar, com exceção dos poços localizados a sudeste da seção, os quais parecem ter recebido uma maior influência da área fonte localizada ao sul.

As superfícies de inundação marinha são bem reconhecidas em todos os poços que compõem a seção, porém são mais pronunciadas nos poços localizados mais a leste da área de estudo, ratificando que a conexão entre o mar e o continente teria ocorrido a leste/nordeste da área estudada.

Segue-se a mesma linha de raciocínio utilizada na seção A-A' para compreender a maneira que foi depositado o intervalo estudado da seção B-B'. Observa-se um vale onde as camadas encontram-se mais espessas e mais profundas no centro da seção e regiões altas que marcam o afinamento das sequências sedimentares. Essa feição morfológica também estaria relacionada à glaciação ocorrida no ordovício-siluriano, anterior à deposição do intervalo estudado.

Figura 17: Seção B-B'.



Fonte: O autor.

3.3.3 Seção C-C’

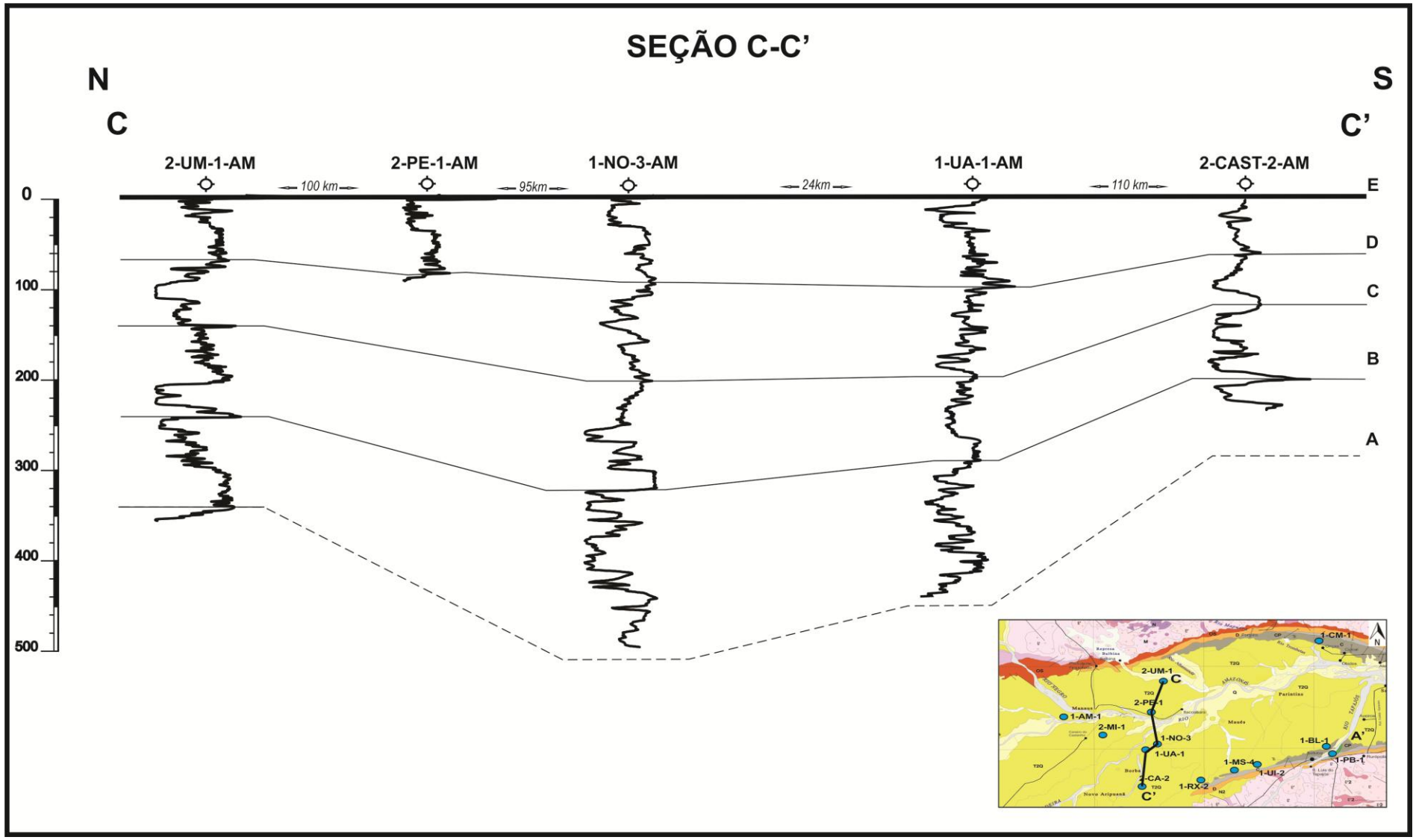
A seção C-C’ (figura 18) está localizada na porção centro-oeste da bacia, seguindo uma orientação N-S. Composta por cinco poços (2-UM-1-AM, 2-PEST-1-AM, 1-NO-3-AM, 1-UA-1-AM e 2-CAST-2-AM), esta seção atravessa eixo de maior profundidade, como mostra o mapa de isópacas (figura 20) do intervalo siluro-devoniano da Bacia do Amazonas.

Dentre as quatro seções realizadas neste estudo, esta é a que apresenta a maior deficiência no registro dos perfis de raios gama, tendo apenas um poço (2-UM-1-AM) registrado todo o intervalo estudado. O poço 2-PEST-1-AM é utilizado apenas para correlação da sequência DE com a localização das sequências subjacentes projetadas de acordo com os poços mais próximos. Os demais poços (1-NO-3-AM, 1-UA-1-AM e 2-CAST-2-AM) não apresentam à superfície de inundação A em seu registro, tendo esta sido projetada nestes poços.

A seção C-C’ apresenta uma configuração semelhante a das seções anteriormente descritas. A relação geométrica observada ao se correlacionar os limites de sequências é de uma bacia em rampa, com um suave mergulho da plataforma. O poço que apresenta a maior profundidade (1-NO-3-AM) está contido no centro desta seção e apresenta as maiores espessuras do intervalo estudado. As mudanças mais abruptas em relação à profundidade em que são encontradas as superfícies chave são observadas justamente em suas extremidades, nos poços 2-UMST-1-AM e 2-CAST-2-AM, por estes estarem localizados próximos às bordas norte e sul, respectivamente. Sendo assim, as espessuras das sequências sedimentares diminuem em direção às bordas norte e sul da bacia, o que resulta em uma maior inclinação em direção a parte central da seção, onde encontra-se o depocentro.

A seção C-C’ contém os poços mais profundos na região estudada, caracterizando, assim como nas seções anteriores a configuração morfológica de um vale, estruturado anteriormente a deposição do intervalo siluro-devoniano.

Figura 18: Seção C-C’.



Fonte: O autor.

3.3.4 Seção D-D’

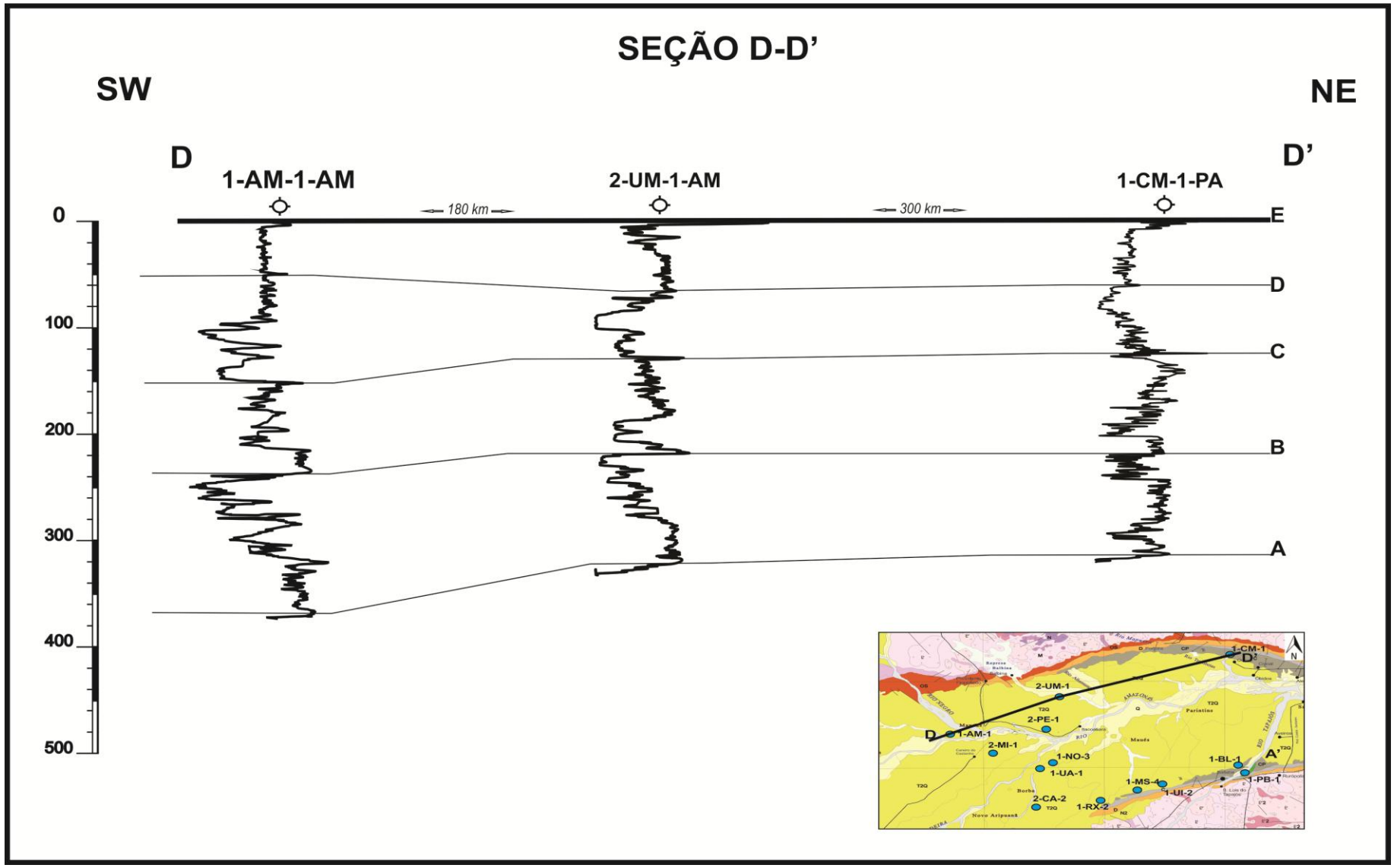
A seção D-D’ (figura 19) busca caracterizar o limite norte da Bacia do Amazonas. Sua orientação é SW-NE, subparalela ao seu limite superior, sendo constituída por apenas três poços (1-AM-1-AM, 2-UMST-1-AM e 1-CM-1-PA).

Os três poços apresentam todas as superfícies de inundação marinha que integram o intervalo estudado em seus perfis de raios gama. Entretanto, dentre as quatro seções estudadas, esta é a que apresenta a maior a distância entre os poços, resultando numa maior dificuldade de correlação entre os picos radioativos.

Na parte sudoeste da seção, o poço 1-AM-1-AM apresenta as superfícies chave em níveis um pouco mais profundos e suas espessuras são as maiores registradas nesta seção com exceção da sequência DE. Entre os poços 2-UMST-1-AM e 1-CM-1-PA existe uma tendência horizontal na seção D-D’, onde não observa-se variações significativas de profundidade das sequências e suas espessuras.

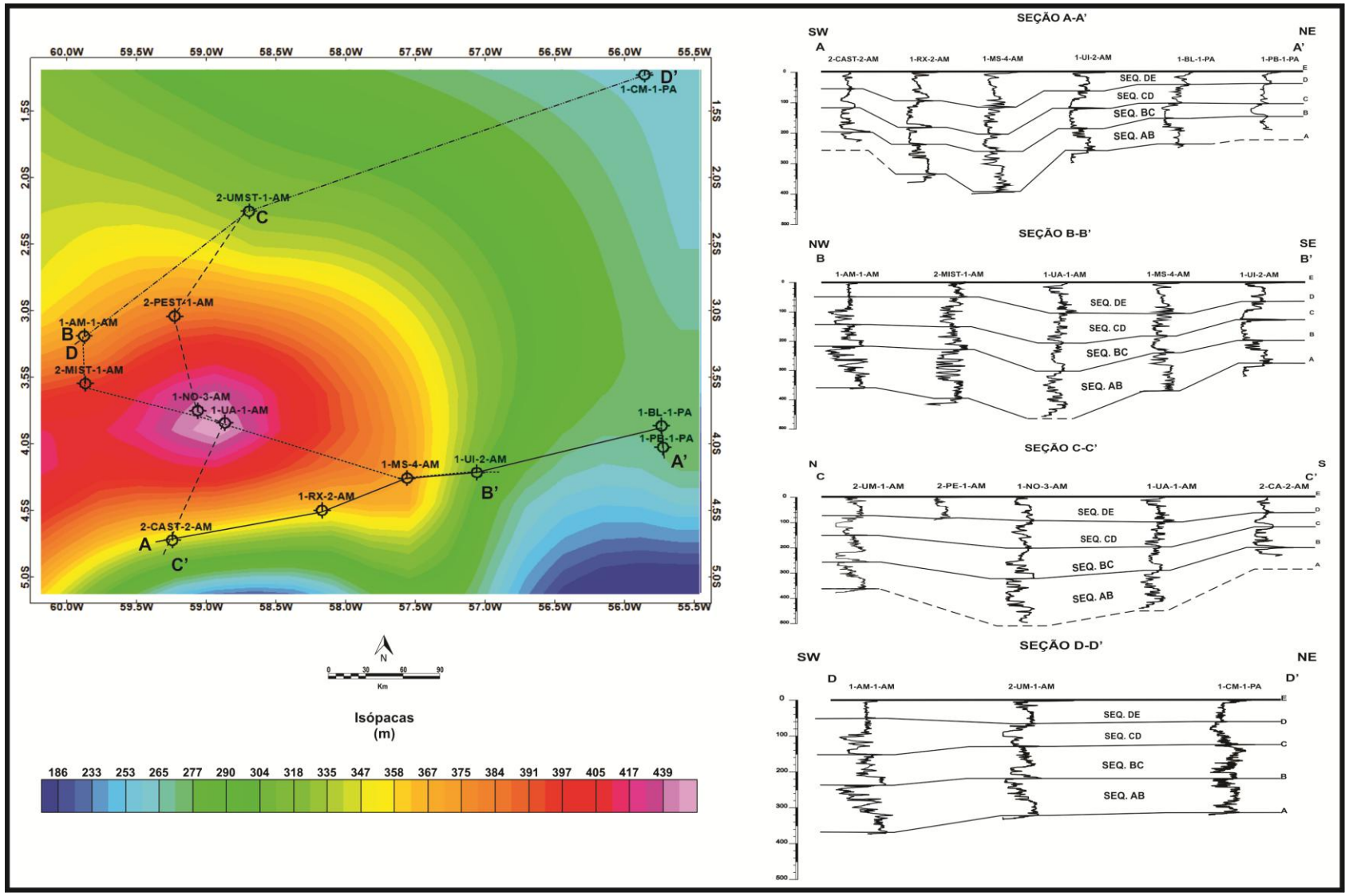
Os intervalos arenosos no poço 1-AM-1-AM são mais marcantes que nos demais poços por estarem localizados mais próximos ao Arco de Purus, principal área fonte da bacia, o qual também contribuiu para os intervalos arenosos presente no poço 2-UM-1-AM, na porção central da bacia. À medida que a seção se afasta da área fonte são registrados níveis arenosos menos marcantes, como no poço 1-CM-1-PA onde o perfil de raios gama registra intervalos cada vez mais siltosos. Entende-se que a progradação dos intervalos arenosos ocorreu em direção ao poço 1-CM-1-PA, a variação de profundidade destes intervalos é irrelevante quando leva-se em consideração a grande distância entre cada um destes poços, ratificando as características fisiográficas de uma bacia sedimentar em rampa, isto é, um mergulho muito suave em áreas de grande dimensão. Além disso, observa-se que as superfícies transgressivas são muito bem marcadas no poço 1-CM-1-PA, uma vez que dentre todos os poços analisados este é o que se encontra mais próximo ao caminho de entrada do mar sobre continente.

Figura 16: Seção D-D’



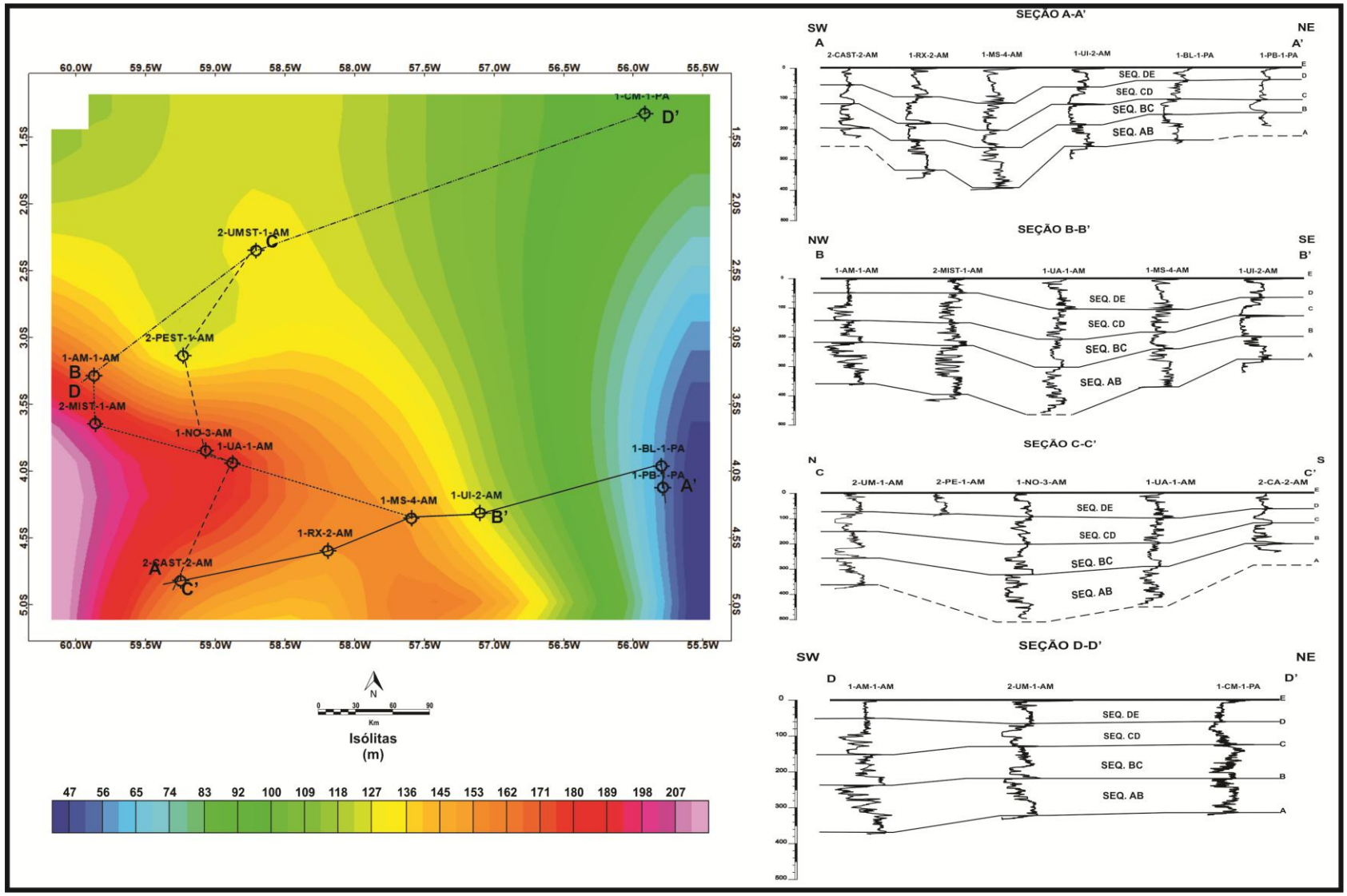
Fonte: O autor.

Figura 17: Mapa de isópacas da seção siluro-devoniana da Bacia do Amazonas.



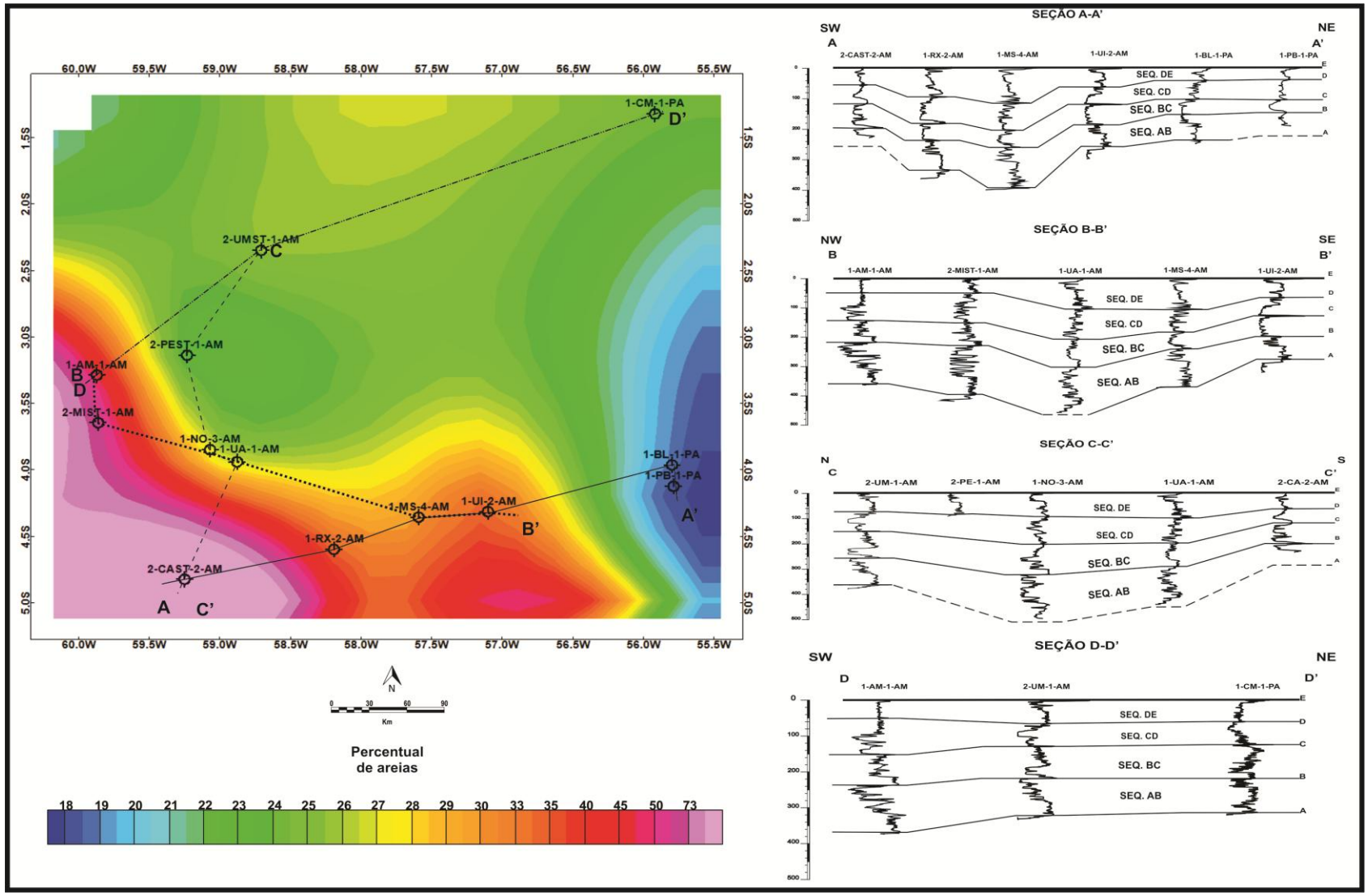
Fonte: O autor.

Figura 18: Mapa de isólitas de areias da seção siluro-devoniana da Bacia do Amazonas.



Fonte: O autor.

Figura 19: Mapa de porcentagem de areias da seção siluro-devoniana da Bacia do Amazonas.



Fonte: O autor.