



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Raphael Victor Aleixo Vasconcellos


**Análise estratigráfica do Campo de Pirapema
na Bacia da Foz do Amazonas**

Rio de Janeiro

2012

Raphael Victor Aleixo Vasconcellos

**Análise estratigráfica do Campo de Pirapema
na Bacia da Foz do Amazonas**



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

Orientador: Prof. Dr. Egberto Pereira

Rio de Janeiro

2012

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

V331 Vasconcellos, Raphael Victor Aleixo.
Análise estratigráfica do Campo de Pirapema na
Bacia da Foz do Amazonas / Raphael Victor Aleixo
Vasconcellos. – 2012.
83 f. il.

Orientador: Egberto Pereira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do
Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia

1. Geologia estratigráfica – Teses. 2. Sedimentação e
depósitos – Amazonas, Rio, Bacia - Teses. I. Pereira,
Egberto. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 551.7(282.281.3)

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

Assinatura

Data

Raphael Victor Aleixo Vasconcellos

**Análise estratigráfica do Campo de Pirapema
na Bacia da Foz do Amazonas**

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

Aprovado em 12 de março de 2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Egberto Pereira (Orientador)
Faculdade de Geologia da UERJ

Prof. Dr. Sérgio Bergamaschi
Faculdade de Geologia da UERJ

Dr. Renato Lopes Silveira
Especialista em Geologia e Geofísica da ANP.

Rio de Janeiro

2012

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu orientador Dr. Egberto Pereira, pela sua paciência e discussões acaloradas sobre o tema, em um aprendizado que jamais esquecerei.

AGRADECIMENTOS

O Autor expressa seus sinceros agradecimentos a:

Instituições:

A ANP Agência Nacional do Petróleo pelos dados fornecidos para o desenvolvimento desta dissertação.

A Faculdade de Geologia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro e ao seu corpo docente.

Professores e pesquisadores:

Agradecimento especial ao Professor Dr. Egberto Pereira, pelo grande empenho, ajuda e dedicação. Agradeço pela grande oportunidade de aprender e hoje vejo estratigrafia de sequência como uma excelente ferramenta de trabalho.

Aos professores Sérgio Valente e Artur Corval (UFRRJ) pelas análises sobre intrusões ígneas e Leonardo Oliveira (UFES) pelo auxílio no início das correlações geológicas executadas no trabalho.

Aos amigos da ANP, em especial Elaine Loureiro pelas informações acerca do software Geoframe. Aos amigos: Adoniran Bugalho, Juliana Vieira e Marcos André Alves (geólogos da ANP) entre outros, com seus anos a mais de experiência e troca de “ideias geológicas”. Ao André Rugenski e José Ribamar pela colaboração nos estudos envolvendo magnetometria. Aos funcionários Anderson Gomes, Daiane Rosa e Cristina Almeida da empresa Schlumberger. Ao Zaque Alves da empresa SMT que auxiliou na utilização do software Kingdon. Aos amigos do trabalho que de alguma forma me apoiaram. Agradeço a todos.

Agradecimentos Pessoais:

A minha família (Eliane, minha mãe e Victor Hugo meu irmão), amigos e a namorada (Lisa Marie) pelo grande apoio emocional. Enfim, a todos que sentiram saudades nos vários momentos em que me ausentei para que este trabalho pudesse ser concluído.

Nada é tão ruim que não possa piorar,
porém depois da tempestade há a bonança
autor desconhecido.

RESUMO

VASCONCELLOS, R.V.A. **Análise Estratigráfica do Campo de Pirapema na Bacia da Foz do Amazonas**, 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

A Bacia da Foz do Amazonas localiza-se no extremo noroeste da plataforma continental brasileira, mais precisamente na margem equatorial. Esta margem se distingue da margem leste brasileira, principalmente pela existência de esforços transtensivos que culminaram com a criação de falhas transformantes de direção E-W e, conseqüente, criação de bacias do tipo *pull apart*. Esta bacia ainda se difere das demais bacias brasileiras devido à existência de um expressivo pacote sedimentar depositado nos últimos 11 Ma., que pode chegar a mais de 10.000 metros de sedimentos. Tal feição, denominada Cone Amazônico, apresenta ainda um arcabouço estratigráfico pouco compreendido. Neste trabalho, buscou-se trazer novas perspectivas acerca do pacote sedimentar da bacia, com ênfase na análise estratigráfica dos ciclos progradacionais característicos de progradações deltaicas, bem como a distribuição de possíveis reservatórios siliciclásticos. A análise integrada de poços com as interpretações sísmicas possibilitou a confecção de detalhadas correlações estratigráficas para região do Cone Amazônico. Foram também realizadas importantes observações para as formações mais antigas que o Cone Amazônico como, por exemplo, a influência de intrusões ígneas nas formações Caciporé e Calçoene, atingindo até mesmo a Formação Limoeiro (sequência pós-rifte), bem como a presença de falhas normais relacionada à intumescência da feição ígnea, atingindo a plataforma carbonática. Esta bacia constitui uma fronteira exploratória, complexa em seus aspectos estruturais e estratigráficos, onde a interação de fatores como taxa de acomodação e variação do aporte sedimentar ainda não está totalmente compreendido.

Palavras-chave: Cone Amazônico. Bacia da Foz do Amazonas. Ciclos progradacionais. Análise estratigráfica.

ABSTRACT

The Foz do Amazonas Basin is located in the extreme northwest of the Brazilian continental shelf, more precisely in the equatorial margin. This margin is distinguished from the east coast of Brazil, mainly by the existence of transtensions efforts that culminated in the creation of transform faults in E-W direction, and consequently, appearance pull apart type basins. This basin also differs from others Brazilian basins due to the existence of a significant sedimentary package deposited in the last 11 Ma, which can reach more than 10.000 meters of sediment. This feature, called Amazon Cone still has a little-understood stratigraphic framework. In the present study, we sought to bring new perspectives about the sedimentary basin, with emphasis on the analysis of stratigraphic typical cycles of progradational deltaic as well the distribution of possible siliciclastic reservoirs. The integrated analysis of wells with the seismic interpretation allowed the preparation of detailed stratigraphic correlations for the region of Amazon Cone. Important observations were also performed for the formations older than the Amazon cone, for example, the influence of igneous intrusions in Caciporé and Calçoene formations reaching even the Limoeiro formation (pos-rift sequence), and the presence of normal faults related to cooling of igneous feature, reaching the carbonate platform. This basin it is a new frontier in theirs complex structural and stratigraphic, where the interaction of factors such as rate of sediment supply and accommodation is not yet fully understood.

Keywords: Amazon Cone. Foz do Amazonas Basin. Progradational cycles. Stratigraphic analyses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia da Foz do Amazonas	13
Figura 2 - Disposição espacial dos dados utilizados	15
Figura 3 - Exemplo de sismograma sintético após correlação do poço 1 APS 36 AP	19
Figura 4 - Carta Estratigráfica da Bacia da Foz do Amazonas.....	22
Figura 5 - Seção sísmica mostrando três superfícies de descolamento	26
Figura 6 - Linha sísmica <i>strike</i> mostrando feições erosivas na plataforma carbonática	28
Figura 7 - Arcabouço estrutural do embasamento das bacias da Margem Equatorial Brasileira	31
Figura 8 - Mapa estrutural da Tectônica gravitacional na região do Cone Amazônico	31
Figura 9 - Análise geoquímica do poço 1APS 36 AP, o qual mostra baixo potencial na região do cone Amazônico e um nível de apenas 3 m com alto potencial gerador referente a Fm. Amapá	33
Figura 10 - Poço 1 APS 10B AP, apresentando os três reservatórios que possuem gás. Notar a inversão dos perfis de densidade e neutrão no reservatório inferior.....	34
Figura 11 - Análise geoquímica do poço 1-APS-18-AP mostrando alto potencial para a Fm. Codó/Fm. Caciporé	35
Figura 12 - Seção geológica esquemática cortando a região do Cone Amazônico ..	39
Figura 13 - Possíveis geometria de corpos arenosos em deltas de acordo com os três principais domínios possíveis: dominado pelo rio, dominado por ondas e dominado por maré	42
Figura 14 - Diferentes subambientes associados à deposição deltaica	42
Figura 15 - Mapa de localização dos poços e linhas sísmicas	45
Figura 16 - Linha sísmica 0047-1067 (não interpretada e interpretada), apresentando as principais sequências sedimentares, feições ígneas e estruturais	47
Figura 17 - Detalhe da área de ocorrência das rochas ígneas na Linha sísmica 0047-1067. As feições marcadas em I, II, III e IV representam diferentes episódios magmáticos	49

Figura 18 - Principais sequências e ciclos progradacionais identificados na linha sísmica 0038-0737	51
Figura 19 - Linhas sísmica 0034-0371 apresentando a plataforma carbonática (Fm. Amapá) e falhas associadas à tectônica gravitacional	53
Figura 20 - Linha <i>strike</i> 0222-0777 interpretada mostrando ciclos progradacionais. Foram interpretadas, também, feições erosivas como cânion e superfícies erosivas	56
Figura 21 - Linha <i>dip</i> 0038-0733 interpretada	58
Figura 22 - Linha <i>dip</i> 0044-0065 interpretada e apresentando a continuidade das progradações deltaicas para a parte mais profunda da bacia	60
Figura 23 - As Linhas <i>dip</i> 0038-0718 e 0038-0719 apresentam os principais refletores intracone. Destaca-se também o <i>flat spot</i> do objetivo do poço exploratório 1 APS 10B AP e poço de extensão 3PP 0001 AP, referente ao campo de gás de Pirapema	61
Figura 24 - Principais correlações estratigráficas executadas no estudo	63
Figura 25 - Correlação estratigráfica A - A' na região da descoberta de Pirapema. Perfil GR (azul), perfil de resistividade (verde) e perfil sônico (preto)	66
Figura 26 - Linha sísmica utilizada para integrar a correlação estratigráfica na região da descoberta de Pirapema	67
Figura 27 - <i>Composite</i> das linhas sísmicas da área da correlação estratigráfica AA'	68
Figura 28 - Correlação estratigráfica BB'. Observa-se que o poço 1APS 36 AP teve como objetivo a plataforma carbonática	69
Figura 29 - <i>Composite</i> de linhas sísmicas da área da correlação BB' e detalhe da estruturação sob a plataforma carbonática. Notar as terminações dos refletores do Cone Amazônico em <i>onlap</i> contra a plataforma carbonática e o significativo espessamento do pacote nas proximidades da falha	70
Figura 30 - Correlação estratigráfica CC'	71
Figura 31 - Correlação estratigráfica DD'	72
Figura 32 - Mapa magnetométrico (intensidade total nT) na região do trabalho	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Localização, profundidade final, mesa rotativa e lâmina d'água dos 10 poços exploratórios selecionados.....	16
Quadro 2 - Linhas sísmicas selecionadas para o estudo.....	17

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
1	LOCALIZAÇÃO	12
2	BREVE HISTÓRICO EXPLORATÓRIO	13
3	OBJETIVOS	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	14
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
5.1	Arcabouço tectonoestratigráfico da Bacia da Foz do Amazonas	20
5.2	Arcabouço estrutural	29
5.3	Sistema petrolífero da Bacia da Foz do Amazonas	32
6	PREMISSAS ESTRATIGRÁFICAS	40
7	ANÁLISE DE DADOS	44
7.1	Linhas sísmicas	46
7.2	Correlações estratigráficas	62
8	HISTÓRIA DEPOSICIONAL E ANÁLISE DE POSSÍVEIS PLAYS EXPLORATÓRIOS	73
8.1	Embasamento	73
8.2	Sequência Pré-Rifte	73
8.3	Sequência Rifte	75
8.4	Sequência Pós-Rifte	75
8.5	Plataforma carbonática do Amapá	76
8.6	Cone Amazônico	77
9	CONCLUSÕES	77
10	RECOMENDAÇÕES	80
	REFERÊNCIAS	81

INTRODUÇÃO

A Bacia da Foz do Amazonas é uma bacia de fronteira exploratória situada no extremo noroeste da plataforma continental brasileira. Embora possua duas descobertas na região do Cone Amazônico, tais reservas nunca foram exploradas na bacia. O poço descobridor 1-APS-0010B-AP referente ao Campo de Pirapema e o poço 1-APS-51A-AP foram considerados subcomerciais no momento de sua descoberta (1976 e 1982, respectivamente). O insucesso exploratório da bacia está relacionado aos problemas logísticos (área remota e com elevadas necessidades de investimento) e ao sucesso obtido na margem leste brasileira, e a ausência de resultados significativos na margem equatorial, direcionando assim investimentos para Bacia de Campos e para a Bacia Sergipe-Alagoas.

A Margem Equatorial Brasileira, assim como a própria Bacia da Foz do Amazonas, é considerada uma região carente de estudos. Assim, este trabalho poderá contribuir em conhecimentos geológicos desta área, que talvez represente a região mais desconhecida e complexa de nossa plataforma continental, possuindo características próprias que a diferenciam das demais bacias brasileiras.

1 LOCALIZAÇÃO

A Bacia da Foz do Amazonas situa-se no hemisfério norte, localizada no extremo noroeste da plataforma continental brasileira (Figura 1). Sua área é de 282.909 km² até o limite de 200 milhas náuticas, distribuídas entre o litoral dos estados do Pará e Amapá. Limita-se a NW pelo Platô de Demerara, através do arco de Caiena, que pertence a Guiana Francesa; a SE com a Bacia do Pará-Maranhão, na qual é apenas um limite geográfico e a sul com a Bacia de Marajó (Bizzi, et al., 2003). Possui uma parte continental de cerca de 30.000 km², que é preenchida por sedimentos arenosos recentes, sem nenhuma atratividade para a indústria do petróleo.

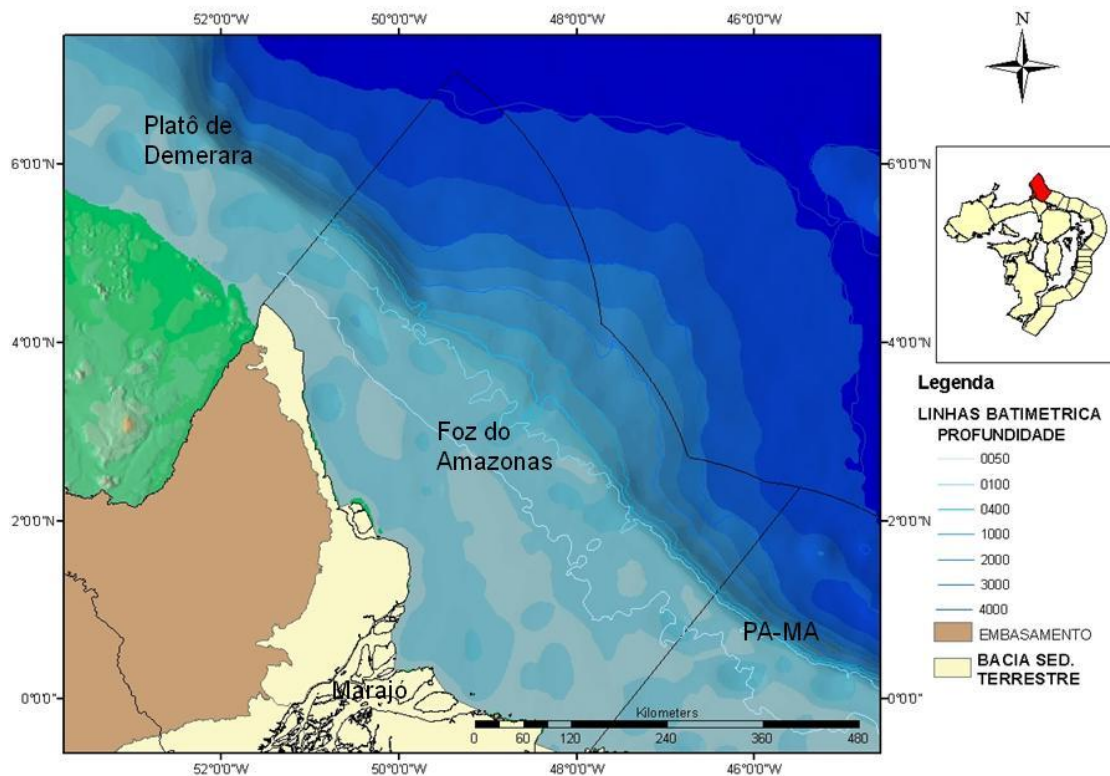


Figura 1 - Localização da Bacia da Foz do Amazonas.

2 BREVE HISTÓRICO EXPLORATÓRIO

O poço 1-APS-0010B-AP foi perfurado no ano de 1976. O mesmo foi considerado subcomercial, sendo posteriormente abandonado. Sua classificação foi realizada à luz dos conceitos vigentes na década de 1970. A descoberta de Pirapema é hoje considerada como descobridor de gás, porém o mesmo nunca foi explorado. Vários motivos levaram a esta situação: 1) a necessidade de muitos investimentos para região norte do Brasil no período da descoberta, 2) a infraestrutura precária e a grande distância das cidades mais próximas ao campo, 3) a quantidade de gás encontrada neste poço, com um volume original provável de 10,1 B m³, que não configura um volume viável (tanto econômico, quanto logístico) em comparação com os investimentos necessários à época da descoberta.

Com a evolução da geologia do petróleo nestas últimas décadas, principalmente associado à estratigrafia de sequência moderna e seus conceitos podendo ser utilizados, mas também pelo desenvolvimento de novas ferramentas, torna-se oportuno reavaliar a área desse campo com base nos novos conceitos estratigráficos e nas novas possibilidades tecnológicas. Além disso, a referida bacia

é carente de estudos geológicos e geofísicos. Neste caso, o presente estudo tenta complementar as informações da bacia, visando aumentar o conhecimento sobre a distribuição dos possíveis reservatórios.

3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma consistente análise estratigráfica para a área do Poço 1-APS-0010B-AP, poço descobridor de gás na Bacia da Foz do Amazonas. O referido poço está inserido na região do Cone Amazônico, um delta colossal ativo desde o Tortoniano (Mioceno Superior). Há exemplos no mundo de produção de hidrocarbonetos em complexos deltaicos como o Delta do Níger, Ganges e Pó, sendo a Foz do Amazonas uma exceção. A Bacia da Foz do Amazonas possui um aporte sedimentar elevado na ordem de 1.22 metros de sedimento/1000 anos, e picos em torno 11 metros de sedimento/1000 anos (Hoorn, 2006) distribuídos em uma área de mais de 60.000 km². Assim, o objetivo principal é compreender a evolução tectono-sedimentar da área visando propor, se possível, novos prospectos exploratórios a partir da compreensão da distribuição de prováveis reservatórios ao longo da área de estudo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o referido trabalho foram utilizados os seguintes dados públicos disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP:

- 10 poços exploratórios, incluindo perfis compostos, pastas de poço, arquivo geral do poço (AGP) e seus respectivos perfis disponibilizados em formato LAS (sônico, densidade, resistividade, raios-gama e outros quando presente no pacote de dado) - Figura 2 e Quadro 1;
- 20 linhas sísmicas (*strike* e *dip*) - Quadro 2,
- Dados gravimétricos e geoquímicos dos poços (COT e Pirólise de *Rock-Eval*).

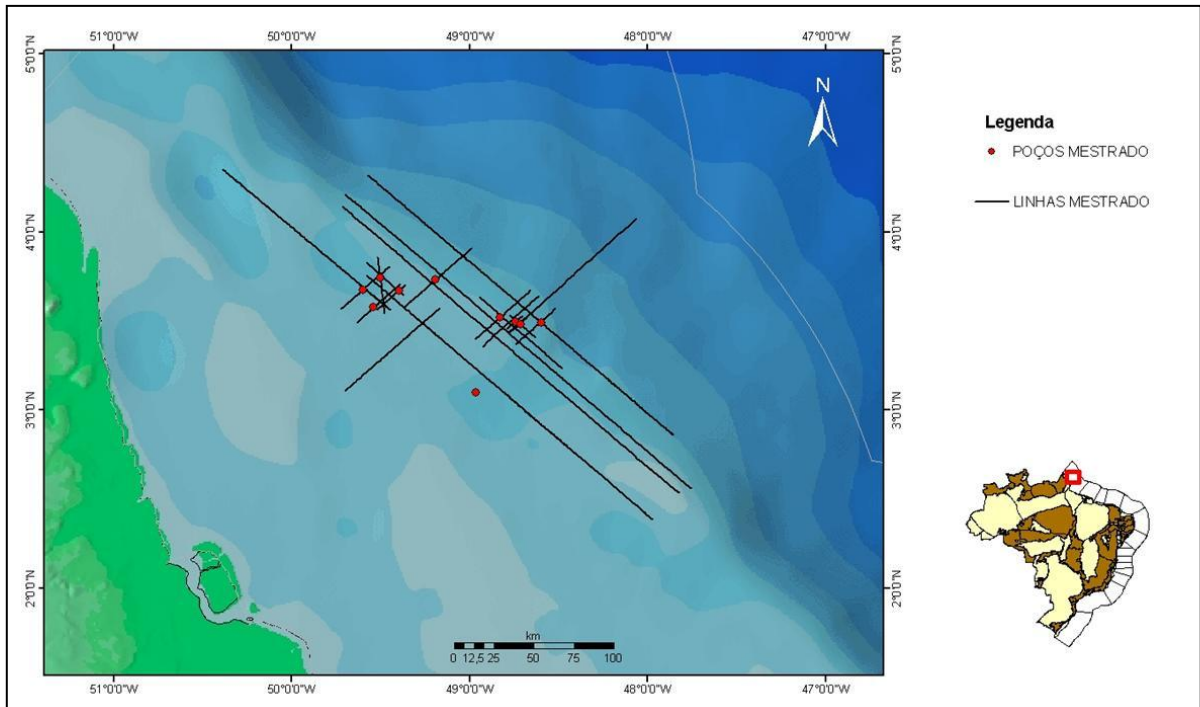


Figura 2 - Disposição espacial dos dados utilizados.

Estes dados foram integrados e utilizados para “amarrar” a interpretação sísmica na região do poço descobridor de gás, em uma possível área de influência do campo. Os dados geoquímicos disponibilizados foram utilizados para caracterizar o modelo de geração para o campo em questão. Parâmetros como volumes de hidrocarboneto e qualidade, janela de geração, migração, entre outros, também foram analisados.

SIGLA DO POÇO	LAT.	LONG.	PROF. FINAL (m)	M.R. (m)	Lâmina (m)	CLASSIFICAÇÃO
3 PP 0001 APS	03°29'34,17"N	48°44'21,0"W	3500	33	122	Produtor subcomercial de gás natural
1APS 0010B AP	03°28'50,28"N	48°42'44,5"W	4265	35	135	Descobridor de campo com gás natural
1APS 0053 AP	03°29'28,6"N	48°35'50,9"W	3572	23	180	Abandonado por acidente mecânico
1APS 0054A AP	03°31'09,8"N	48°49'45,2"W	3984	25	115	Seco sem indícios
1APS 0005 AP	03°05'50,4"N	48°57'42,8"W	4354	22	88,0	Seco sem indícios
1APS 0015 AP	03°44'29,5"N	49°30'03,4"W	4122	24	97,0	Seco sem indícios
1APS 0016C AP	03°40'30,9"N	49°35'50,0"W	3803	27	92,0	Seco sem indícios
1APS 0022 AP	03°43'50,7"N	49°11'22,1"W	3704	33	107,0	Seco sem indícios
1APS 0026A AP	03°40'06,4"N	49°23'48,1"W	4354	32,6	98,2	Seco sem indícios
1APS 0036 AP	03°34'29,5"N	49°32'18,6"W	4673	33	89,0	Seco sem indícios

Quadro 1- Localização, profundidade final, mesa rotativa e lâmina d'água dos 10 poços exploratórios selecionados.

SEGMENTO	DIREÇÃO	SITUAÇÃO
0044-0096	<i>dip</i>	Utilizada
0222-0744	<i>dip</i>	Problema de posicionamento
0222-0777	<i>Strike</i>	Utilizada
0222-0796	<i>Strike</i>	Utilizada
0239-01222	<i>dip</i>	Utilizada
0044-0039	<i>Strike</i>	Utilizada
0044-0041	<i>Strike</i>	Utilizada
0044-0044	<i>dip</i>	Utilizada
0044-0065	<i>Strike</i>	Utilizada
0044-0071	<i>dip</i>	Problema de qualidade
0047-1067	<i>Strike</i>	Utilizada
0034-0371	<i>dip</i>	Utilizada
0038-0337	<i>Strike</i>	Utilizada
0038-0718	<i>dip</i>	Utilizada
0038-0719	<i>dip</i>	Utilizada
0038-0733	<i>dip</i>	Utilizada
0038-0735	<i>Strike</i>	Utilizada
0038-0736	<i>dip</i>	Utilizada
0038-0737	<i>dip</i>	Utilizada
0038-0745	<i>Strike</i>	Utilizada

Quadro 1 - Linhas sísmicas selecionadas para o estudo.

Para se entender a distribuição das rochas reservatório, ao longo do Cone Amazônico, foram realizadas correlações geológicas utilizando-se o software da suíte Corel® e para as interpretações sísmicas utilizou-se o software Geoframe® e Kingdon® (utilizado para a interpretação da linha 0047-1067) para calibrar as correlações geológicas que cruzam o Cone amazônico.

“Amarrar” um poço consiste em comparar informações entre dados em profundidade (curvas e marcadores do poço) e dados em tempo (sísmica e superfícies interpretadas no domínio do tempo). Vale ressaltar que neste projeto os dados sísmicos estão em tempo duplo - *twt* (*two way time*). Todo dado existente é importante para este processo: como perfil de poço (DT), densidade (RHOB), até mesmo perfil de raios gamas (GR). Ainda com o intuito de melhorar essa amarração puderam ser utilizados os seguintes dados:

- Superfícies interpretadas em tempo;
- Marcadores sísmicos (topos e bases de formações);
- Dados adquiridos de *checkshots*.

O *checkshot* nada mais é que uma correlação direta entre tempo (sísmica) com profundidade (poço), sendo que o mesmo é obtido no momento da perfilagem. Desta forma, o mesmo é um dado que serve para mensurar o tempo de trânsito da onda sísmica da superfície até uma profundidade conhecida. Vale ressaltar que neste processo são detonadas fontes em superfície e a energia oriunda desta fonte (ondas) é captada por geofones posicionados dentro do poço. O dado gerado pode ser correlacionado com perfil sônico (DT). Apenas dois poços solicitados à ANP possuíam *checkshot*: 1-APS-0053-AP e 1-APS-0054A-AP. Outro método de conversão tempo-profundidade é a utilização do perfil sônico (DT) e/ou densidade (RHOB), através do qual pode se criar um sismograma sintético. Este por sua vez se caracteriza por um método bem mais interpretativo. Estes dois métodos podem ser utilizados em conjunto (*checkshot* e sismograma sintético). A Figura 3 apresenta o sismograma sintético do poço 1 APS 36 AP.

Ainda como última alternativa, pode-se entrar manualmente com uma tabela tempo X profundidade, porém, no mínimo devem-se conhecer dois (dois) refletores e suas respectivas profundidades no poço.

A utilização de dados de métodos potenciais (dados gravimétricos e magnetométricos), também disponibilizados pela ANP, não apresentaram uma boa qualidade e a área de cobertura, por ser muito restrita, não permitiu uma análise mais aprofundada. Em contrapartida, utilizaram-se dados públicos do levantamento magnetométrico EMAG2, que se encontram disponibilizados no site <http://geomag.org/models/emag2.html>, que foram utilizados para as análises de intrusões ígneas em uma linha *strike* regional.

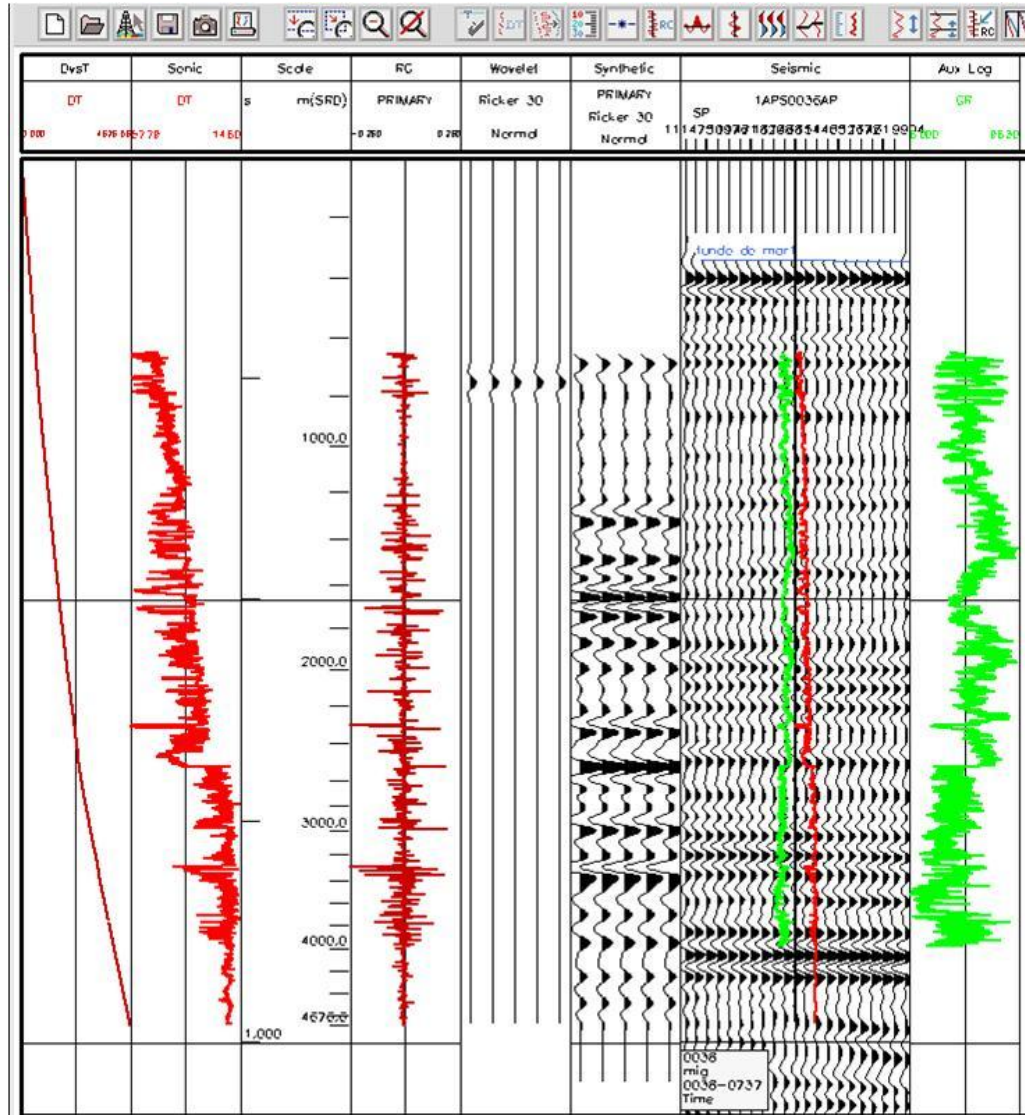


Figura 3 - Exemplo de sismograma sintético após correlação do poço 1 APS 36 AP.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Uma minuciosa revisão bibliográfica foi realizada com intuito de se compreender o contexto geológico, estratigráfico e estrutural pela qual a Bacia da Foz do Amazonas desenvolveu-se, desde sua gênese até a deposição do Cone Amazônico. Além disso, utilizando trabalhos na literatura se fez uma análise do sistema petrolífero e suas principais características.

5.1 Arcabouço tectonoestratigráfico da Bacia da Foz do Amazonas

A Bacia da Foz do Amazonas está inserida no contexto de quebra do Supercontinente Gondwana, e consequente formação do Oceano Atlântico Equatorial, que teve início no Neocomiano (120 Ma.). Este processo ocorreu de forma diácrona ao longo da costa brasileira. Assim como todas as bacias da Margem Equatorial, a Bacia da Foz do Amazonas é classificada como uma bacia do tipo *pull-apart* devido, principalmente, a esforços transtensivos dextrais que divergiram a placa Sul Americana em relação à Placa Africana. No caso da Foz do Amazonas, esses esforços transtensivos se deram através de falhas de direção E-W denominada Zona de Fraturas de São Paulo (FIGUEIREDO et al., 2007 e BRANDÃO e FEIJÓ, 1994). Bacias conjugadas do Oeste africano podem ser correlacionadas com as Bacias da Margem Equatorial brasileira a partir destes grandes planos de falhas facilmente reconhecidos no assoalho do oceano Atlântico (mapa gravimétrico *Bouguer*). Assim, a bacia em estudo se correlaciona diretamente com as bacias da costa da Libéria e Serra Leoa.

No contexto tectônico da fase rifte da Bacia da Foz do Amazonas, e aproveitando lineamentos pré-existent no embasamento Pré-cambriano, formaram-se feições em hemi-grabens alongados na direção NW-SE. O arcabouço dos grabens do Caciporé, Caciporezinho e Externo, reconhecidos na bacia, são segmentados por falhas transtensivas, configurando, assim, estruturas *en-echelon*.

A Bacia da Foz do Amazonas possui quatro grandes sequências: 1° Sequência refere-se à fase Pré-rifte de idade Juro-Triássica, a 2° sequência se refere a fase Rifte depositada do Neocomiano ao Aptiano. A 3° sequência, já em fase francamente marinha, configura a fase drifte da bacia e foi depositada do Cenomaniano ao Mioceno Médio. O grande diferencial da Bacia da Foz do Amazonas inicia-se com a deposição do cone deltaico no Mioceno Superior associado ao soerguimento dos Andes, correspondendo a 4° sequência. Nesta fase há uma integração de drenagens que até então corriam de Leste para Oeste sendo, e que a partir de então é revertida a direção de fluxo e forma a Foz do Amazonas como nos moldes atuais. Esta sequência foi depositada inicialmente em um ambiente de plataforma carbonática que foi posteriormente substituído por completo na região do denominado Cone Amazônico. Na Bacia do Pará-Maranhão, vizinha a

Bacia da Foz do Amazonas, ainda é possível ver a existência desta plataforma carbonática, denominada Formação Ilha de Santana.

A história evolutiva da bacia foi recentemente revista por Figueiredo et al. (2007) – Figura 4. Nesta evolução, sobre o embasamento cristalino de idade Neoproterozóica, denominado Faixa Rocklides, com estruturas de direção NW-SE foi depositada a sequência Pré-rifte (Formação Calçoene). Litologicamente, a mesma é formada por arenitos avermelhados (*red beds*), com derrames de basaltos intercalados e datados entre 235 – 194 Ma.; e, em menor proporção, por folhelhos, siltitos e argilito. Esse sedimento continental é oriundo do supercontinente Gondwana. As características dos sedimentos aqui descritos são representativas de um ambiente desértico. Um ambiente muito próximo do que se imagina para as porções interiores do Gondwana, e sua deposição está associada à abertura do Atlântico central.

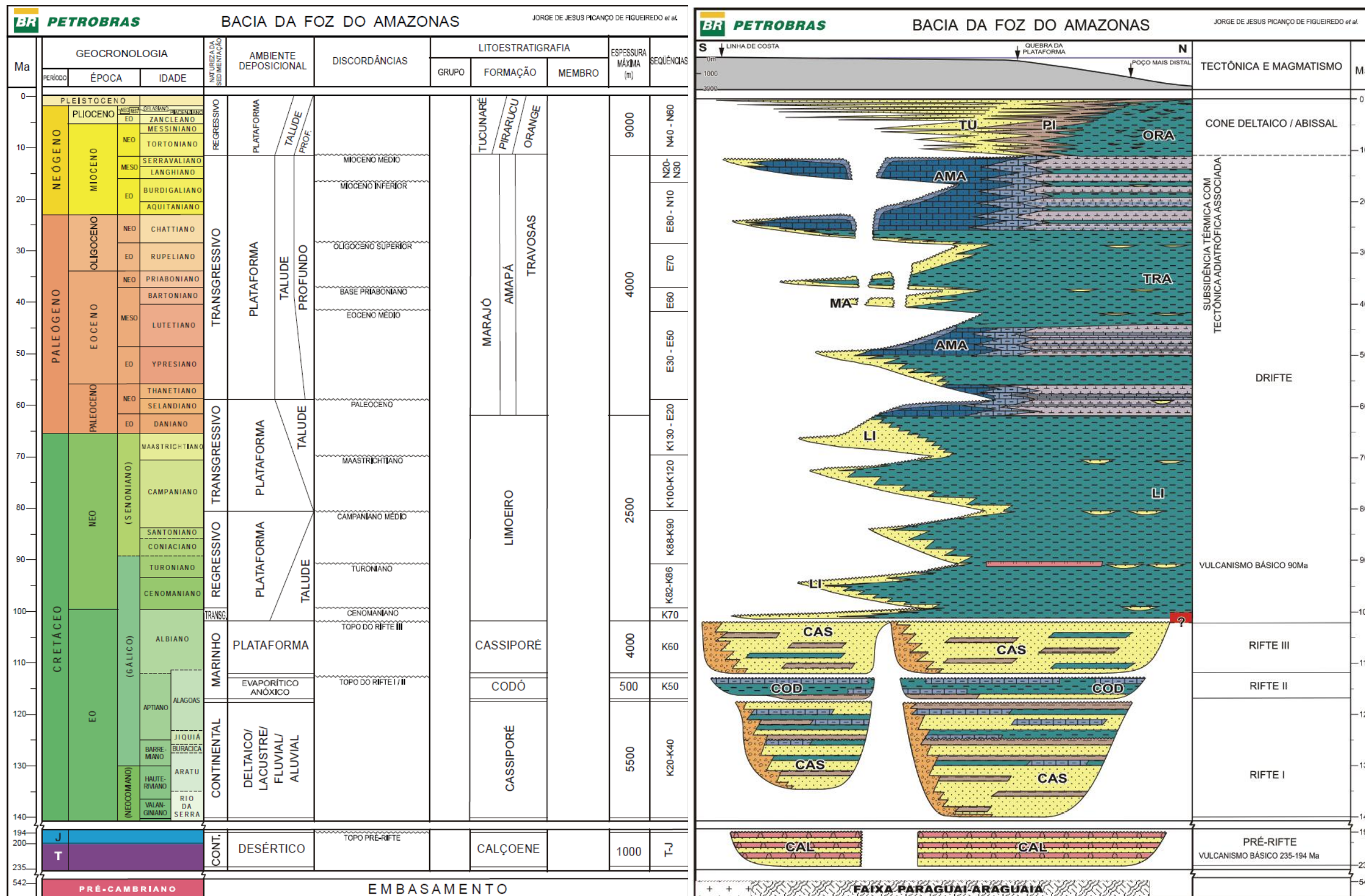


Figura 4 - Carta Estratigráfica da Bacia da Foz do Amazonas
 Fonte: (Figueiredo et al., 2007).

Ainda, segundo Figueiredo et al. (2007), a fase rifte da Bacia da Foz do Amazonas de idade Neocomiano ao Aptiano ainda não foi perfurada na bacia. Porém, a existência de sedimentos e respectivas datações no vizinho rifte da Bacia de Marajó, a sul, e no Platô de Demerara, a noroeste, torna pertinente assumir a presença desses sedimentos na Foz do Amazonas, sendo assim denominada como sequência Rifte 1. Sobreposto a sequência Rifte 1, ocorre uma seção caracterizada por refletores sísmicos plano-paralelos restritos aos hemi-grabens e com alto contraste de impedância acústica; atributos conhecidos em outras bacias como Barreirinhas, Pará-Maranhão e Parnaíba, caracterizadas nestas bacias como Formação Codó. Assim esta unidade denominada na Bacia como Rifte 2 é agora considerada também na coluna estratigráfica da Foz do Amazonas. A sequência de idade Albo-Aptiana é observada em poços e constitui a fase Rifte 3. As fases Rifte 1 e Rifte 3, denominada Formação Caciporé, intercalam a Formação Codó (Rifte 2).

O ambiente de deposição da Formação Caciporé é lacustre, com um ambiente flúvio-deltáico associado nas bordas da bacia. Sua formação está relacionada com a abertura do Atlântico Equatorial. Quanto a Formação Codó, a mesma foi perfurada por dois poços, 1-APS-0018-AP e 1-APS-0049-AP, sendo descrita como formada, principalmente, por folhelhos ricos em matéria orgânica e, secundariamente, representada por siltitos e calcilutitos. Este fato é importante para a Bacia da Foz do Amazonas, tendo em vista que Formação Codó possui um alto teor de matéria orgânica em outras bacias (Parnaíba, Barreirinhas e Pará-Maranhão) e, assim, seria uma potencial rocha geradora.

A 3ª sequência representa a fase drifte na bacia, uma sedimentação francamente marinha que se iniciou no Neoalbio e perdura até o recente. Pode ser subdividido em três intervalos. O primeiro intervalo é representado pela deposição dos sedimentos da Formação Limoeiro de idade Cenomaniano ao Maastrichtiano, com sedimentos que indicam uma transgressão na bacia. A Formação Limoeiro é caracterizada por arenitos na parte proximal e folhelhos com turbiditos associados na parte distal da área estudada, havendo ainda a ocorrência de siltitos. O segundo intervalo foi depositado do Eopaleoceno ao Mioceno Superior (Tortoniano). Os sedimentos proximais são representados pelos arenitos da Formação Marajó. Num contexto transicional, foram depositados sedimentos de espessa plataforma carbonática em ambiente marinho raso, denominada de Formação Amapá.

Representando uma sedimentação mais profunda e distal na bacia, a Formação Travosas é caracterizada por folhelhos com algumas lentes de areia associado a turbiditos. Estudos de proveniência sedimentar indicam que a deposição das formações associadas à fase drifte são, principalmente, oriundas do paleo-rio Tocantins e do Escudo das Guianas (Hoorn, 2006).

A sedimentação do Cone Amazônico, que vem sendo depositada desde o Tortoniano até o Recente, é representada por uma expressiva cunha sedimentar progradante (Grupo Pará), composto, das porções proximais às porções distais pela Formação Tucunaré (principalmente arenitos), Formação Pirarucu (intercalações de arenitos, siltitos e folhelhos) e Formação Orange (principalmente folhelhos com lentes de areias associadas). A espessura do Cone Amazônico em algumas áreas pode chegar a mais de 10 km e sua área de abrangência é de cerca de 60.000 km².

O início da deposição do Cone Amazônico está intimamente relacionado com o soerguimento da cadeia Andina e, segundo o trabalho de Hoorn (2006), ocorre em torno de 11.8 - 11.3 Ma (Mioceno Médio a Superior). A partir do soerguimento dos Andes, há uma captura significativa das drenagens que migravam para o Pacífico e para o Caribe, que então são canalizados para a região amazônica, imprimindo a Bacia da Foz do Amazonas uma configuração bem semelhante a atual, que se constitui em uma drenagem correndo de Oeste para Leste e descarregando sedimentos na Margem Atlântica Equatorial (Pasley et al., 2005). Esta evolução indica também uma mudança da proveniência sedimentar, com sedimentos nesta fase oriundos da cadeia de montanhas dos Andes recém-formadas. Hoorn (2006) indica que a taxa de sedimentação variou ao longo do tempo, sendo observados, pelo menos três estágios:

1° estágio) 11.8 Ma - 6.8 Ma: com baixa taxa de sedimentação 0.05 metros de sedimentos/1.000 anos. Grande quantidade de sedimento é depositada em bacias continentais. Neste contexto, é possível que estas bacias continentais ainda não totalmente preenchidas como as bacias do Amazonas, Solimões, Acre, Tacutu e bacias recém-formadas na parte oeste dos Andes foram entulhadas por sedimentos desta fase inaugural da deposição do Cone. Haveria então nas bacias continentais, como nas bacias do Amazonas e Solimões, grandes lagos e deposição de sedimentos fluviais e lacustre, semelhante ao ambiente deposicional indicado para a Formação Alter do Chão, e, naturalmente, não iriam depositar na Foz do Amazonas.

Ficando assim aprisionada no continente uma volumosa quantidade de sedimentos possivelmente de granulometria média a grossa, e grau de arredondamento dos grãos de subangular a angular.

2° estágio) 6.8 Ma. - 2.4 Ma.: Taxa de sedimentação crescente em torno de 0.3 metros de sedimentos/1000 anos, quando ocorre a formação de um delta progradante na Foz do Amazonas

3° estágio) 2.4 Ma. até o presente: com uma alta taxa de sedimentação (1.22 metros de sedimentos/1000 anos e picos em torno de 11.0 metros de sedimentos/1000 anos, quando ocorre a deposição do moderno Cone do Amazonas de escalas colossais, como atualmente conhecido. Toda a variação da taxa de deposição está relacionado ao soerguimento da cordilheira andina, e consequente mudança de direção de fluxo e deposição do paleo-rio Amazonas.

Os dois últimos estágios descritos acima, apresentam um aumento significativo do aporte sedimentar de forma abrupta, e assim desencadeiam na bacia uma tectônica gravitacional com uma zona de descolamento (*detachment zone*) em folhelhos da Formação Limoeiro (Cenomaniano/Maastrichtiano) com argilocinese associada. Perovano et al. (2008) reconhecem em linhas sísmicas, pelo menos três superfícies de descolamentos (Figura 5). Há dois domínios associados à tectônica gravitacional: um distensional que compreendem um conjunto de falhas de crescimento e estruturas *rollover* e um domínio compressional com dobras, argilocinese, formação de *mini-basin* e, possivelmente, geração de turbiditos (*sands sheets*) neste domínio, a partir de argilocinese. Tal domínio compressional é bem representado a seguir, onde é possível observar falhas antitéticas (falhas de empurrão) que podem atingir o substrato oceânico. Também é possível verificar a ação da argilocinese característica da região distal da bacia. Ainda segundo este trabalho, as idades das superfícies de descolamento variam de 100 Ma. a 40 Ma, superfícies e idades primeiramente reconhecidas no trabalho de Silva et al. (1999).

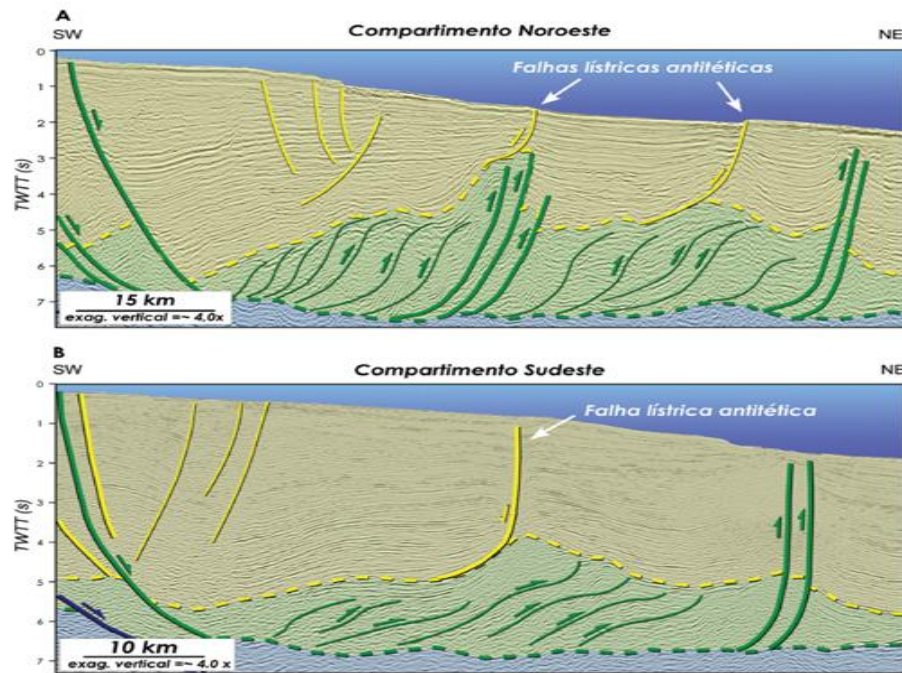


Figura 5 - Seção sísmica mostrando três superfícies de descolamento
 Fonte: Perovano, et al. (2008).

Pasley et al. (2005) descrevem de forma sucinta o Cone Amazônico a partir de análise de dados dos poços perfurados recentemente pela empresa *British Petroleum* (BP), em águas profundas da bacia (1-BP-1A-APS, 1-BP-2-APS e 1-BP-3-APS).

Segundo esses autores, coincidentemente com a atividade tectônica nos Andes houve uma queda do nível do mar de segunda ordem no fim do Mioceno Superior (Tortoniano e Messiniano). Fácies de águas rasas na Foz do Amazonas registram a mudança, tanto no nível relativo do mar quanto no aporte de sedimentos clásticos. Sedimentos de plataforma carbonática da Formação Amapá foram substituídos repentinamente no Tortoniano por sedimentos clásticos da Formação Tucunaré (sedimentos proximais); Formação Pirarucu (intermediário) e Formação Orange (sedimentos distais). A sedimentação carbonática cessou na Foz do Amazonas, com a chegada dos sedimentos siliciclásticos provindos do Rio Amazonas, embora tenha continuado no Holoceno com a Formação Ilha de Santana, a sudeste da Bacia da Foz do Amazonas, e se estendido para a Bacia do Pará-Maranhão onde é depositada até hoje (Brandão e Feijó, 1994).

Não se descarta o retrabalhamento de sedimentos mais antigos do rio Tocantins, ao sul, ao longo da margem da bacia, em especial no Graben do Marajó.

A integração de bioestratigrafia, dados de poços e linhas sísmicas regionais identificaram 11 limites de sequência de terceira ordem e 10 superfícies de inundação no cone Amazônico (*Amazon Fan*) (seção final do Mioceno ao Recente) na Foz do Amazonas (Pasley et al., 2005).

Onze sequências de terceira ordem foram identificadas ao longo da seção do Cone Amazônico por Pasley et al. (2005): no Tortoniano foram identificados três; duas no Messiniano, e ainda duas no Plioceno Inferior; duas no Plioceno Superior e duas no Pleistoceno.

As sequências do Mioceno Superior apresentam sucessões de águas profundas, de trato de sistema de mar baixo (de segunda ordem), que foram depositadas no sentido da bacia em relação aos sedimentos de plataforma carbonática (águas rasas) sotopostos do Mioceno médio (sistema de mar alto de segunda ordem).

Ainda segundo Pasley et al. (2005), depósitos de mar baixo no meio da bacia sobrepostos a plataforma carbonáticas criaram vales incisos e cânions e por processos de *by-pass* relacionados, e representam um tempo significativo de ausência de dados. Em alguns casos, a lacuna de não deposição pode representar algo em torno de cinco milhões de anos (Pasley et al., 2005). Tal fato pode estar relacionado ao preenchimento sedimentar das bacias continentais como Amazonas e Solimões (Hoorn, 2006). Perfis de poços transversais demonstram que os sedimentos clásticos de mar baixo do Mioceno Superior foram depositados em cima dos sedimentos mais antigos de plataforma carbonática (Mioceno médio). Muitos poços perfurados na porção *updip*, ou seja, mergulho acima na bacia (na região conhecida como Plataforma do Amapá) mostram que as seções do Mioceno Superior encontram-se ausentes. Dados bioestratigráficos identificam depósitos de mar baixo somente em poços de controle distais (talude e bacia), entretanto, na parte proximal são reconhecidas as superfícies estratais e total ausência de fósseis para datação. No entanto, interpretações alternativas podem ser obtidas a partir da análise da linha sísmica 0047-1067 (Figura 6).

É possível que as feições erosivas não estejam relacionadas à queda do nível do mar como descrita pelo trabalho de Pasley et al. (2005). As trapas paleogeomórficas impressas na plataforma carbonática estariam somente associada ao afogamento da bacia e ação de correntes de contorno. Tal interpretação é

motivada pelo fato que as feições erosivas ocorrem em região mais profundas, porém não afetam a área mais rasa da plataforma do Amapá que possui um refletor sísmico contínuo. Além disso, os poços 1-APS-36-AP, 1-APS-16C-AP e 1-APS-21-AP (Fugita, 2004) que perfuraram a plataforma carbonática, possuem folhelhos e siltitos intercalados logo acima da Formação Amapá, sugerindo que não houve exposição subaérea. Ao contrário, sugere ambiente de baixa energia e nível de mar alto.

No contexto acima exposto, as feições erosivas na região da quebra da plataforma carbonática, podem ser simplesmente um indício da ação de correntes de contorno em águas mais profundas.

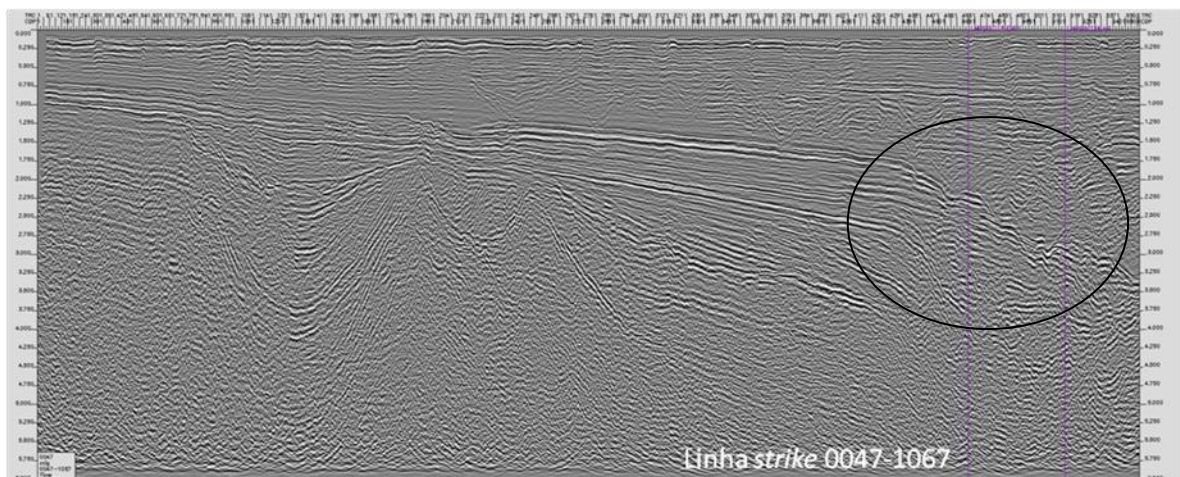


Figura 6 - Linha sísmica *strike* mostrando feições erosivas na plataforma carbonática.

Ainda segundo Pasley et al. (2005), esta quantidade significativa de tempo perdido (hiato), em conjunto com um trato de sistema de mar baixo no fim do Mioceno, resultou em refletores em *onlap* sobre pacotes em porções profundas da bacia. Assim, se evidencia a eficácia da chegada de sedimentos clásticos de águas profundas na Bacia da Foz do Amazonas, análogos aos turbiditos terciários da Bacia de Campos. Porém, ao se tratar de uma plataforma carbonática que foi submetida à ação da erosão (exposição e ação de vales incisos ou correntes de contorno), pode ser que esses turbiditos análogos da Bacia de Campos em águas profundas sejam representados por carbonatos.

Sequências do Plioceno Inferior são marcadas por extensivas transgressões regionais (trato de sistema trasgressivo de 2º ordem) e são reconhecidas em poços *updip* como depósitos transgressivos / mar alto, que frequentemente repousam

diretamente sobre os carbonatos do Mioceno Médio. Correlações sísmicas sugerem que as seqüências do Plioceno Inferior são caracterizadas em águas profundas pela baixa amplitude. Regionalmente, extensos intervalos formados, predominantemente, são representados por grãos finos de zonas condensadas.

Seqüências do Plioceno Superior ao recente são caracterizadas por um espesso delta de margem continental e representa a rápida deposição progradação que é fortemente correlacionada aos ciclos orbitais (Figueiredo, 2003). A progradação total desta margem durante este período apresentou uma variação de 40-60 km, que representa um depósito de mar alto de segunda ordem, exibindo taxas de sedimentação que excedem 3,5 km por milhão de ano (Pasley et al., 2005).

5.2 Arcabouço estrutural

Assim como todas as bacias marinhas brasileiras, a Bacia da Foz do Amazonas tem sua gênese associada à fragmentação do paleocontinente Gondwana, iniciada Neocomiano e, conseqüente, abertura do Oceano Atlântico. A mesma ocorreu ao longo da costa brasileira de forma diácrona. As estruturas de caráter regional existentes na Margem Equatorial Brasileira e em especial na Bacia da Foz do Amazonas estão relacionadas a movimentos distensionais dextrais de direção NE-SW/E-W, que aproveitaram estruturas pré-existentes do embasamento da bacia como a Faixa de dobramento Rokelides e o Cratón das Guianas formando rombo grábens como o Caciporé, Caciporezinho e Externo de direção preferencial NNW-SSE (Figura 7). O embasamento da bacia está relacionado à amalgamação do supercontinente Gondwana (Figueiredo et al., 2007).

Falhas transformantes de direção E-W, atuantes desde o Neocomiano, fragmentaram a Bacia da Foz do Amazonas, criando estruturas em *echelon* configurando assim uma Bacia do tipo *pull apart*. O Gráben de Caciporé é diferente, em termos de características morfo-estruturais dos demais grabens: Caciporezinho e Externo. Sua direção NW-SE revela uma feição referente ao Cratón das Guianas de idade Paleoproterozóica.

Na área central da bacia conhecida como Cone do Amazonas, observa-se uma tectônica gravitacional, que estrutura toda a seção cenozóica. A mesma atua desde o início do soerguimento da cordilheira andina (a aproximadamente 15 Ma)

até o recente, gerando estruturas que podem ser subdivididas em duas áreas com componentes distintas. A primeira, que se posiciona antes da quebra do talude, apresenta um domínio distensional com *rollovers*, falhas de crescimento. A segunda está inserida no domínio compressional com diápiros de argila, cristas colapsadas, dobras, falhas de empurrão e formação de *mini-basins* (Figura 8).

Essa feição geológica tem uma extensão de cerca de 60.000 km². Em termos de comparação o delta do Níger tem 70.000 km² e vários campos em produção, principalmente relacionados a trapas estratigráficas e, por vezes, reestruturados em *rollovers*. Isso nos leva a indagar os motivos do sistema Níger ser tão prolífero e o sistema da Foz do Amazonas ter obtido tanto insucesso. A sobrecarga sedimentar é relativamente recente (15 Ma.) e sua existência está intimamente relacionada à Formação Limoeiro. Esta unidade litoestratigráfica é constituída por uma grande concentração de materiais finos depositados no Neoptiano até o Paleoceno e, assim, a partir da sobrecarga sedimentar são geradas superfícies de descolamentos da Formação Limoeiro.

Embora com história geológicas totalmente distintas, as bacias da Foz do Amazonas e o delta do Níger possuem compartimentos estruturais bastante semelhantes. Sendo que nos dois casos essa estruturação é de idade Terciária (Foz do Amazonas com a deposição da feição cone no Mioceno Superior e o delta do Níger de idade Eocênica).

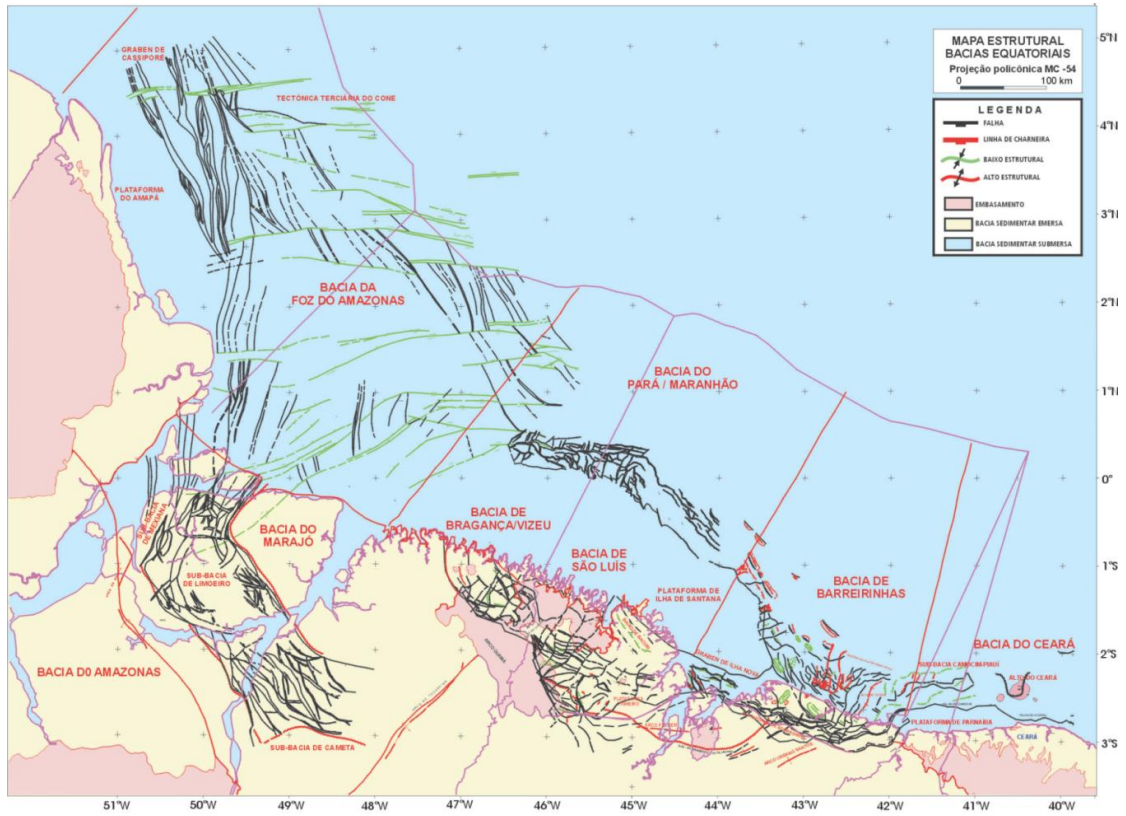


Figura 7 - Arcabouço estrutural do embasamento das bacias da Margem Equatorial Brasileira
Fonte: Bizzi et al. (2003).

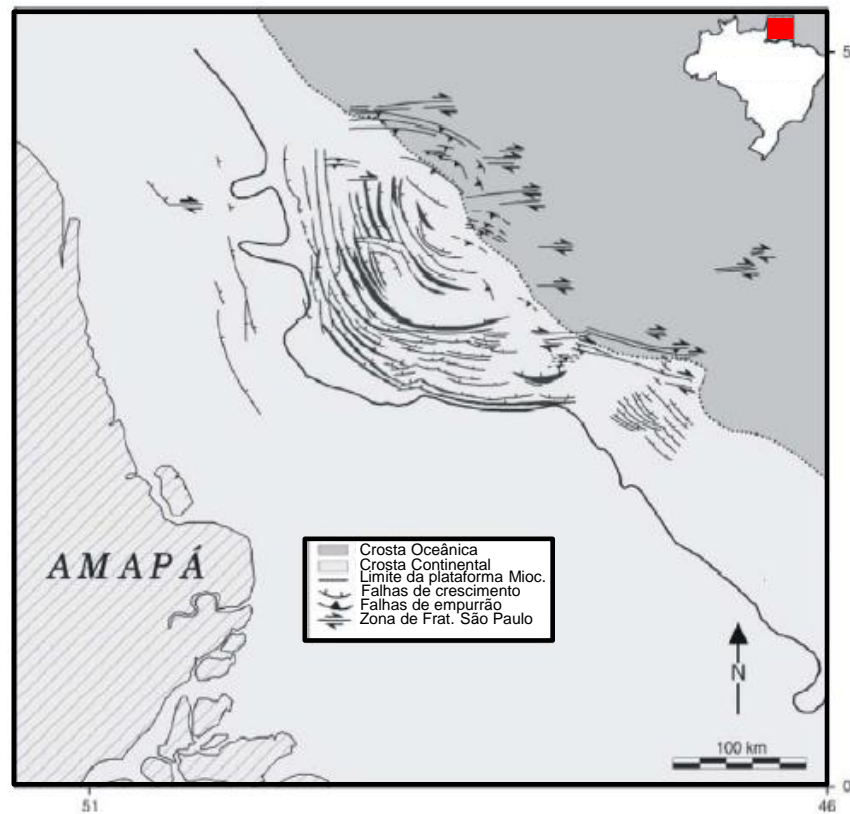


Figura 8 - Mapa estrutural da Tectônica gravitacional na região do Cone Amazônico
Fonte: Silva et al. (1999).

5.3 Sistema petrolífero da Bacia da Foz do Amazonas

Rochas Geradoras

Mello et al. (2001), através de análise geoquímica de pequenas alíquotas de amostras de óleos e utilizando imagens de satélite (sensoriamento remoto), fez importantes constatações para a Bacia da Foz do Amazonas. No trabalho desses autores há a confirmação da geração de óleo para Bacia da Foz do Amazonas. No mesmo, os autores descrevem como principais geradores para a Bacia da Foz do Amazonas: (1) a Formação Limoeiro do Cretáceo Superior que compreende rochas associadas a uma progradação siliciclástica até uma sucessão marinha (carbonatos) com espessuras que podem alcançar 3.000 metros nas regiões dos hemi-grabéns. A deposição da Formação Limoeiro ocorreu desde o Albiano até o Maastrichtiano, sendo que o evento anóxico mundial, associado a esse período, está representado na bacia, sendo o mesmo conhecido em todo mundo pelo elevado potencial gerador; (2) um outro possível gerador seriam as rochas de idade Terciária (Formação Travosas), associadas a um sistema fluvial extensivo desde o Mioceno, sendo o seu melhor análogo o delta do Níger. Assim como no poço 1-PAS-0011-PA, na bacia do Para-Maranhão, no poço 1-APS-0036-AP há níveis com COT alto de até 4,5 % e S2 de 15 kg HC/ton de rocha, associados a esse possível gerador, porém com apenas 3 metros de espessura (Figura 9).

Mello et al. (2001) descreve a Formação Travosas com potencial geradora para bacia. Porém na pasta de poço e no perfil composto do poço 1-APS-36-AP, a Fm. Travosas descrita por Mello et al. (2001) é denominada de Formação Amapá e é representada principalmente por calcilutitos.

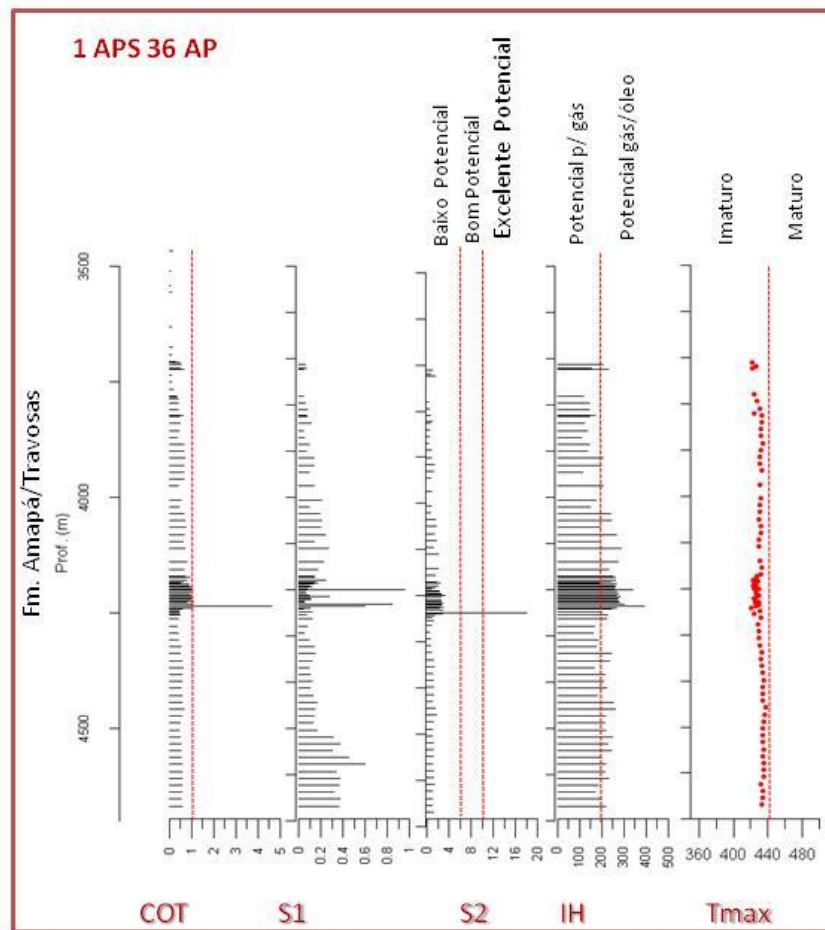


Figura 9 - Análise geoquímica do poço 1APS 36 AP, o qual mostra baixo potencial na região do cone Amazônico e um nível de apenas 3 m com alto potencial gerador referente à Fm. Amapá.

Diversos trabalhos, como por exemplo, Schenk (2000) apontam a possibilidade do Cone do Amazonas, que iniciou a deposição no Mioceno Superior (Tortoniano), funcionar como outra possibilidade de rocha geradora. Este fato se deve, principalmente, a magnitude do cone e a sobrecarga sedimentar que este possui, com espessura sedimentar podendo ultrapassar 10.000 metros de sedimentos, aumentando assim a pressão e a temperatura nas porções basais do cone. A análise geoquímica do gás encontrado no poço 1-APS-10B-AP (campo de Pirapema) indica o potencial gerador do Cone Amazônico, porém comprova uma contribuição de matéria orgânica biogênica para a região.

A partir da análise geoquímica do gás encontrado no poço 1-APS-10B-AP, dois intervalos tiveram resíduo insolúvel próximo a 0,05% (3.330 m a 3.390 m, e 3.510 m a 3.600 m). Isto se deve a presença de carvão na seção perfurada, tratando-se assim de matéria orgânica de origem continental. No Mioceno superior,

a configuração dos continentes já estava bem próxima da atual e, com a presença do Cone Amazônico e a deposição da Formação Pirarucu era de se esperar uma deposição de sedimentos vindo do continente e trazendo matéria orgânica do Tipo 3, com predominante composição de vegetais superiores continentais, que poderia se tornar uma geradora de gás *prone* – Figura 10.

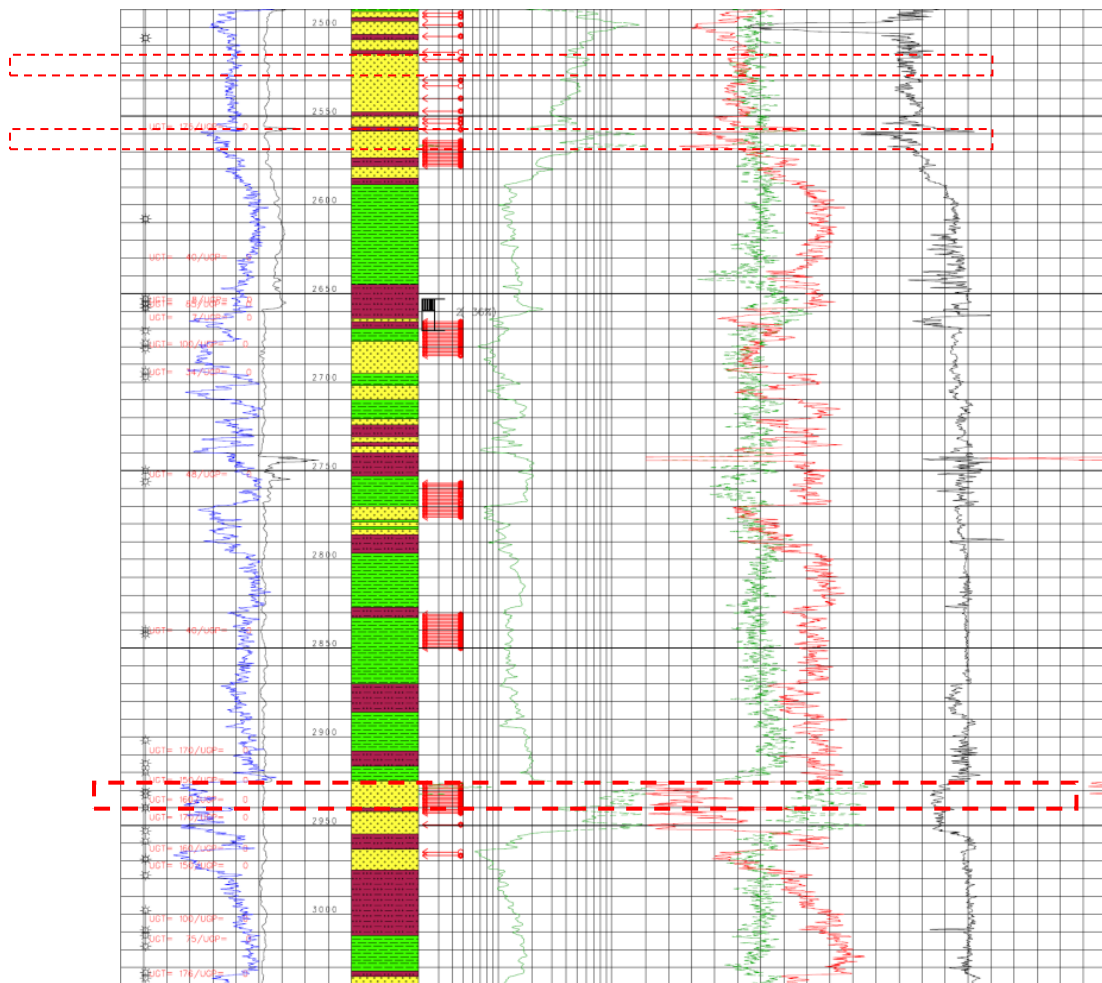


Figura 10 - Poço 1-APS-10B-AP, apresentando os três reservatórios que possuem gás. Notar a inversão dos perfis de densidade e neutrão no reservatório inferior.

A sequência rifte na maioria das bacias da margem continental brasileira é importante rocha geradora. Na Foz do Amazonas não é diferente. Embora seja uma questão especulativa, os folhelhos lacustres / deltaicos da Formação Caciporé, onde o teor de COT pode alcançar 4.4 %, sempre foram considerados como uma rocha com elevado potencial para a bacia. A incorporação da nova carta estratigráfica da Foz do Amazonas (Figueiredo et al., 2007) onde se admite a existência da Formação Codó, uma rocha geradora com alto potencial, conhecido em outras bacias como Barreirinhas, Parnaíba (onde não conseguiu atingir temperatura de

geração ideal), entre outras; seria também uma possibilidade de geração. A existência da Formação Codó foi constatada através de análise geoquímica dos poços 1-APS-18-AP (Figura 11) e 1-APS-49-AP, bem como pela interpretação sísmica de refletores plano-paralelos, na região dos grabêns alongados com direção NW-SE (Figueiredo et al., 2007). No poço 1-APS-18-AP o intervalo com bom potencial para a geração de gás/óleo, correspondente à Formação Codó, encontra-se na janela de geração de óleo.

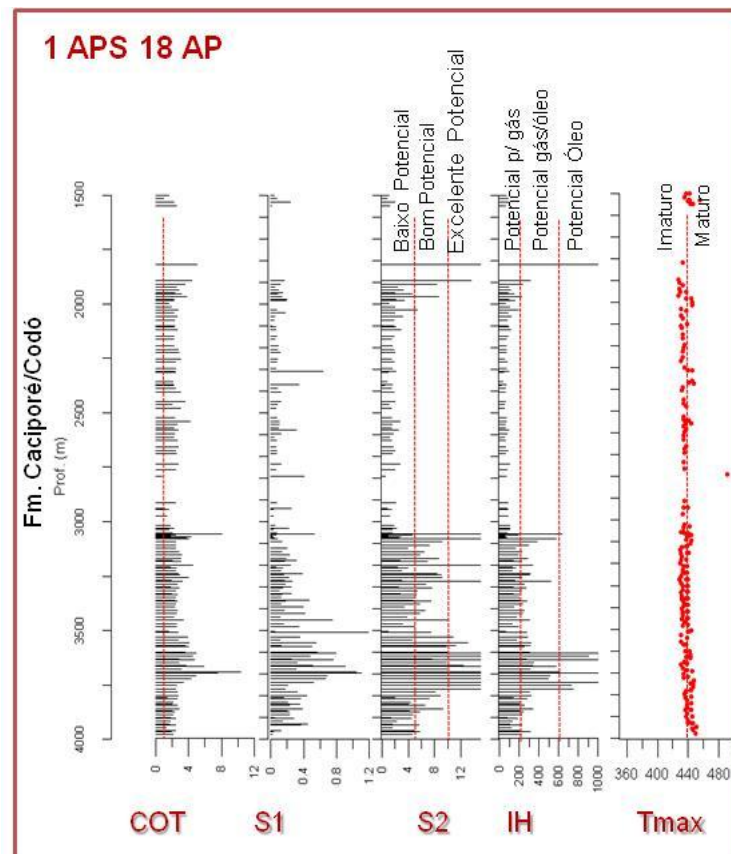


Figura 11 - Análise geoquímica do poço 1-APS-18-AP mostrando alto potencial para a Fm. Codó/Fm. Caciporé.

Manchas de óleo sobre a superfície da água do mar (*oil slicks*) foram detectadas em análises por sensoriamento remoto, principalmente, em áreas próximas a falhas lítricas profundas que afetam sedimentos do cone no domínio distensional da tectônica gravitacional, e em falhas transformantes que vão até o embasamento da bacia (Mello et al., 2001).

Assim, conclui-se que a geração, ao que tudo indica, não implica em risco exploratório para a bacia, tendo em vista que há uma variedade de opções de rochas geradoras depositadas na Bacia da Foz do Amazonas.

Rochas reservatórios

A bacia possui algumas possibilidades de rochas reservatórios, como por exemplo, arenitos flúvio-deltaicos com boa porosidade na sequência rifte (Formação Caciporé). Também foram testados calcários porosos e fraturados da Formação Amapá. Os poços 1-APS-36-AP, 1-APS-16C-AP, 1-APS-21-AP, por exemplo, testaram estruturas dômicas em carbonatos, associados a trapas paleogeomórficas e, em especial, o poço 1-APS-21-AP foi descoberta uma reserva subcomercial em dolomitas no topo da Formação Amapá.

Arenitos turbidíticos da Formação Travosas e, localmente arenitos do Mioceno médio (Formação Orange), são possíveis reservatórios para a bacia em águas profundas (bem similares aos turbiditos da Bacia de Campos). Devido à espessura do Cone Amazônico, as formações mais antigas como Caciporé e Limoeiro ficam inviáveis na área de abrangência do Cone, pois estão muito profundas para serem consideradas como objetivos exploratórios (profundidade superior a 10.000 metros). Em contrapartida, na região dos grabéns essas duas formações podem configurar excelentes alvos exploratórios.

Recentes descobertas no Oeste Africano em arenitos turbidíticos do Cretáceo Inferior (Turoniano - Campaniano) e a comprovação deste *play* na Guiana Francesa aumentaram a busca de análogos exploratórios nas Bacias de Margem Equatorial brasileira. Contudo, como descrito acima, a pesquisa por esses reservatórios de idade Turoniana correlacionáveis à Formação Limoeiro deve ser desviada da área do Cone em razão da profundidade que a Fm. Limoeiro se encontra no Cone Amazônico (superior a 10.000 metros de profundidade). Uma possível região de interesse para esses reservatórios seriam os grabéns de Caciporé, Caciporezinho e Externo na Bacia da Foz do Amazonas.

A Formação Pirarucu até o presente momento configura o melhor resultado de reservatório para a bacia. Foram duas descobertas de gás (campo de Pirapema - Figura 10 e a descoberta na área do poço 1-APS-51A-AP). As mesmas estão inseridas no domínio distensional da tectônica gravitacional, onde intercalações de arenitos com boa porosidade foram estruturados por *rollovers*. Como o ambiente deposicional associado a essa unidade é deltaico, os possíveis reservatórios tais como: canais, *levees*, turbiditos em regiões mais distais e arenitos associados aos

lobos do cone foram pesquisados sem muito êxito na bacia. Schenk (2000) chama atenção para o fato que todos esses reservatórios podem estar reestruturados pela argilocinese ou por falhas de crescimento.

No poço 1-APS-10B-AP existem três intervalos com presença de gás: 2.926 m a 2.939 m, 2.559 m a 2.568 m e 2.517 m a 2.536 m. Os dois primeiros são produtores de gás seco e o terceiro é portador de gás. Todos os intervalos possuem uma boa permeabilidade para reservatórios de gás (150 -160 mD), porosidade de 23 % a 27 %, sendo considerado um bom reservatório (Figura 10).

Migração

A migração pode ocorrer ao longo dos planos de falhas lístricas profundas que vão até a Formação Limoeiro que compõe a zona de descolamento da Bacia da Foz do Amazonas; ocorrendo assim a migração da Formação Limoeiro para o Grupo Pará e Formação Travosas. Para as formações Travosas e Orange é possível ainda um contato direto, por se tratar de reservatórios turbidíticos. Uma evidência desta migração é a presença de camadas espessas de hidratos de gás nas formações do Grupo Pará.

A migração para os reservatórios potenciais da sequência rifte, como a Formação Caciporé, pode ocorrer pelo contato direto das rochas geradoras com os reservatórios ou através dos planos de falha. O contato entre rochas reservatórios da Formação Limoeiro e rochas geradoras sotopostas da Formação Caciporé ocorreriam ora por contato direto entre ambas, ora aproveitando planos de falha da fase rifte entre as duas formações. Nas linhas sísmicas interpretadas neste trabalho, foram observadas falhas de crescimento afetando a plataforma carbonática que poderiam ser rotas de migração da Formação Limoeiro (potencial geradora) para reservatórios da Formação Amapá (Calcarenitos e Dolomitos). Os geradores das formações Caciporé e Limoeiro entraram na janela de geração ao final do Cretáceo e início do Paleoceno. Modelagens térmicas indicam que os geradores da sequência eocênica da Formação Travosas apresentam estágios de maturação nas janelas de óleo e gás no Plio-Pleistoceno e continuam até hoje, (Fugita, 2004 e Schenk, 2000).

Selos

A intercalação de arenitos e rochas de granulometria mais fina (folhelho e até mesmo siltito) ao longo da coluna estratigráfica são selos exemplares para bacia. Na parte mais rasa da mesma, um alvo comum que indica bons *plays* é a Formação Pirarucu, que geralmente apresenta um componente distensional da tectônica gravitacional e possui folhelhos intercalados com siltitos e arenitos. Esta intercalação de folhelhos e arenitos ocorre também na Formação Caciporé. Calcários mais finos como margas e calcilitos podem selar dolomitas e calcarenitos na Formação Amapá. Sobre a Formação Amapá podem ocorrer cânions com preenchimento de sedimentos mais finos do Cone Amazônico.

Trapas

Na Bacia da Foz do Amazonas são encontradas trapas estratigráficas, estruturais, mistas e até mesmo trapas paleogeomórficas associadas a Fm. Amapá. A tectônica gravitacional, atuante na região do Cone Amazônico desde o Tortoniano e ativo até hoje, formam um trapeamento misto eficiente para a bacia. A tectônica gravitacional na bacia pode ser dividida em dois domínios distintos. No primeiro, o domínio distensional com sistema de falhas lítricas que por vezes cortam toda a sequência do Cone Amazônico atingindo a zona de descolamento da Formação Limoeiro. No domínio distensional ocorrem grandes estruturas e talvez sejam as mais testadas até o momento na bacia. Estruturas em *rollovers*, falhas de crescimento ocorrem neste domínio e, por vezes, corpos arenosos turbidíticos ou lentes de areias são reestruturadas pela tectônica gravitacional na área configurando trapas mistas. O segundo domínio é caracterizado por esforços compressoriais que reestruturam, principalmente, de arenitos turbidíticos ou areias associados a depósitos de fundo oceânico caracterizando possíveis trapas estratigráficas. As lentes de areia também podem por vezes formar estruturas do tipo *pinch outs*, selados por diápiros de argila ou ainda representarem dobramentos de cunhas sedimentares associados à argilocinese. As mesmas ocorrem em regiões profundas da bacia. Trapas estruturais são comuns na sequência rifte da bacia onde o falhamento associado à subsidência mecânica da bacia coloca lado a lado rocha geradora e rocha reservatório. Trapas paleogeomórficas podem ocorrer nos

carbonatos da Fm. Amapá a partir da ação de correntes erosivas e posterior sobreposição de sedimentos finos (folhelhos) atuando como selos.

A coexistência de todos os elementos supracitados determinará a existência de *plays*. Os *plays* conhecidos para a Bacia da Foz do Amazonas podem ser divididos em três domínios de ocorrência principais: o domínio rifte em águas rasas onde há uma espessa plataforma carbonática e as formações Caciporé, Codó e Limoeiro em condições não profundas; domínio distensional e o domínio compressional. Estes dois últimos associados a uma tectônica gravitacional, evento mais recente vinculado ao soergimento dos Andes, gerando um grande aporte sedimentar com sobrecarga e formação de uma zona de descolamento na Formação Limoeiro. Há ainda a possibilidade em águas rasas da existência de domos em carbonatos ou bioconstruções (*build up*) (Figura12).

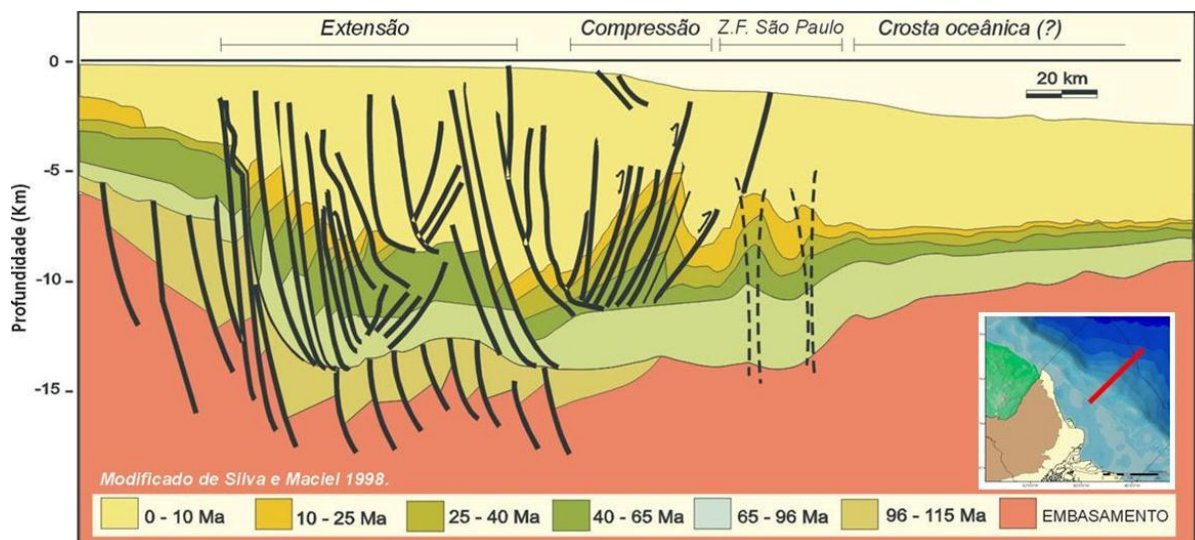


Figura 12 - Seção geológica esquemática cortando a região do Cone Amazônico
Fonte: (Bizzi et al., 2003).