

8 HISTÓRIA DEPOSICIONAL E ANÁLISE DE POSSÍVEIS *PLAYS* EXPLORATÓRIOS

Pretende-se realizar uma análise de todas as sequências depositadas na Bacia da Foz do Amazonas, em consonância com o que foi observado nos dados disponibilizados e analisados nesta dissertação. Vale ressaltar que todas as interpretações sísmicas, análise de poços e correlações estratigráficas respeitam princípios da estratigrafia de sequência moderna e conceitos atuais.

8.1 Embasamento

O embasamento da bacia foi interpretado apenas na linha 0047-1067 (Figura 16 e 17). Nesta linha verificou-se uma grande intrusão ígnea que está relacionada a falhas que envolvem o embasamento de direção NW-SE e constantes reativações de falhas transformantes de direção E-W, responsáveis pela separação das placas sul-americana e africana. Esta linha sísmica corta a região de *grabens* alongados de direção NW-SE (*grabens* do Caciporé, Caciporezinho e Externo). Em um mapa magnetométrico total foi reconhecida, uma feição bipolar característica de intrusões ígneas (Figura 32). Tal dado foi importante para descartar por completo a possibilidade de argilocinese naquela região.

8.2 Sequência Pré-Rifte

A sequência pré-rifte (Formação Calçoene) é caracterizada por intercalações de sedimentos arenosos de ambiente desértico e vulcanismo basáltico datado de cerca de 200 Ma. (Triássico). Esta formação pode estar relacionada à abertura do Oceano Atlântico central. Na linha 0047-1067 (Figura 16) foi interpretada a Formação Calçoene. A feição ígnea, associada às falhas profundas de direção NW-SE e falhas transformantes de direção E-W, cortam a sequência pré-rifte da bacia.

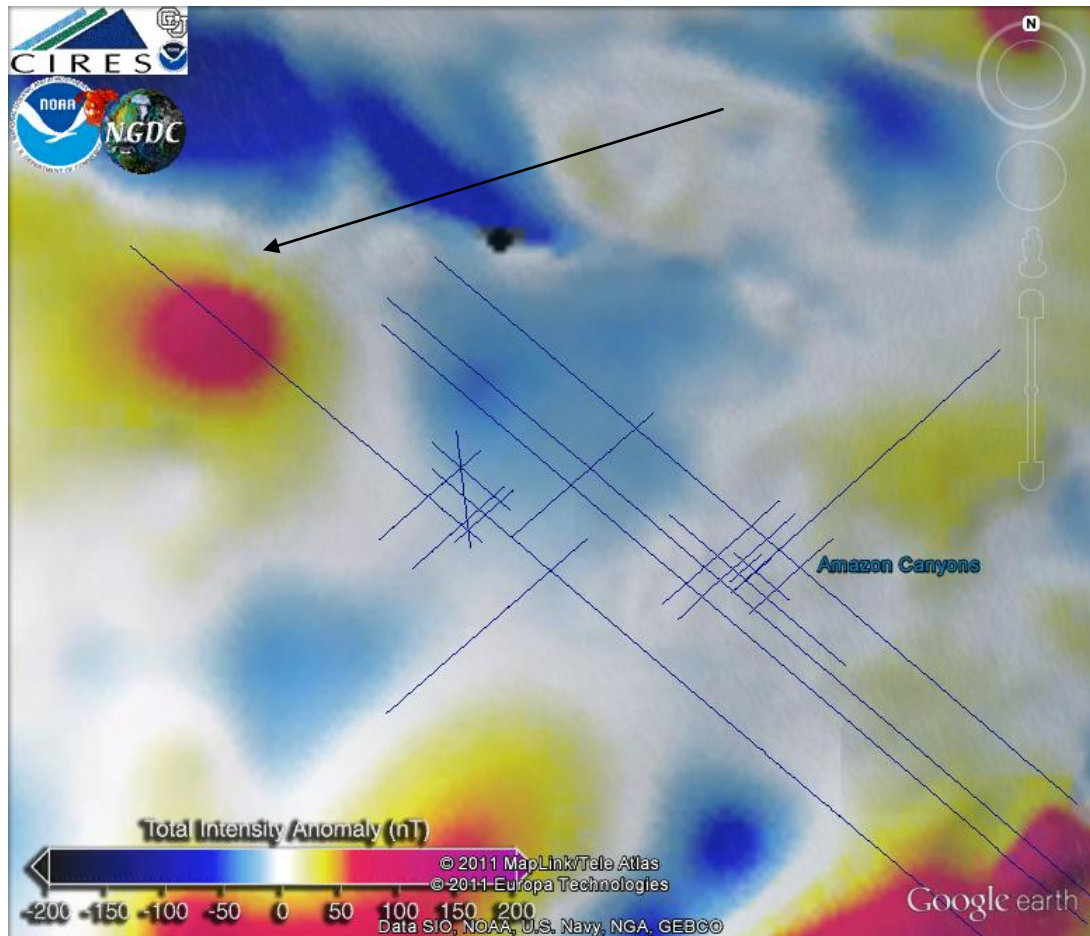


Figura 32 - Mapa magnetométrico (intensidade total nT) na região do trabalho.

<http://geomag.org/models/emag2.html>

Aparentemente, a feição ígnea em sua porção central soergueu a Formação Calçoene, deformando-a e expondo-a a erosão. Esses eventos magmáticos são interpretados em pelo menos três pulsos diferentes e devem ser mais novos que a datação até então realizada. As rochas ígneas podem ser interpretadas como um grande cone vulcânico e neste local, a datação seria mais nova do que 200 Ma.

A feição ígnea parece ter estado em atividade por muito mais tempo do que restrita a deposição da Formação Calçoene como descrita em muitos trabalhos (Figueiredo et al., 2007). Porém, na própria carta estratigráfica da bacia é representada uma atividade ígnea ainda não comprovada no início da sequência pós-rifte (Formação Limoeiro). Sendo assim, os estudos aqui desenvolvidos corroboram a hipótese de magmatismo após a deposição da Formação Calçoene.

Esta sequência, até o presente momento, não possui nenhum interesse para a indústria do petróleo, pois não há uma rocha geradora em potencial associada, embora possua características para um bom reservatório por se tratarem de arenitos de ambiente desértico.

8.3 Sequência Rifte

A sequência rifte da Bacia da Foz do Amazonas é formada pelas formações Caciporé e Codó, esta última descrita nos trabalho de Figueiredo et al. (2007); e foram interpretadas na linha 0047-1067 (Figura 16). Esta linha corta estruturas que afetam o embasamento da bacia de direção NW-SE. Tais estruturas são precursoras da separação das placas sul-americana e africana e, num primeiro momento, são relacionados ao surgimento do Atlântico Central e à reativação que cria o Atlântico Equatorial. Nota-se que nesta linha a sequência rifte é sin-tectônica à intrusão ígnea, sugerindo uma deposição da Formação Caciporé concomitante ao grande evento intrusivo.

8.4 Sequência Pós-Rifte

A Formação Limoeiro foi depositada na bacia entre o Albiano e o Paleoceno Superior. A mesma caracteriza o início da deposição de sequência pós-rifte na bacia. Sedimentos francamente marinhos são depositados neste momento. Litologicamente, é representada em sua parte proximal por arenitos plataformais e, em sua porção mais distal, por folhelhos ricos em matéria orgânica e por arenitos em corpos turbidíticos. A mesma é entendida como uma possível rocha geradora e como uma rocha reservatório, em função de seus arenitos turbidíticos distais. Recentemente, ocorreram descobertas na margem Oeste Africana em arenitos turbidíticos do Turoniano e Campaniano (campos de Jubilee e Tweneboa) e, por analogia, encontraram-se este mesmo *play* na costa da Guiana Francesa (descoberta de Zaedyus).

A linha 0047-1067 demonstra claramente a influência do vulcanismo em rochas da sequência pós-rifte, onde a existência de falhas normais cortando toda a Fm. Limoeiro pode indicar a geração de espaço a partir do resfriamento das rochas

ígneas subjacentes. É possível constatar ainda a ausência de equilíbrio da seção causada pela feição ígnea, pois enquanto que na parte esquerda (oeste) ocorrem deformações sin-tectônicas ao evento magmático, na parte a direita (leste) da Fm. Limoeiro ocorre à formação de grande espaço deposicional, onde se desenvolve uma progradação mista com rochas carbonáticas e siliciclásticas.

8.5 Plataforma carbonática do Amapá

Uma espessa plataforma carbonática foi depositada do Paleoceno superior ao Mioceno (Tortoniano). A mesma foi interpretada, principalmente, nas linhas 0038-0733, 0038-0737, 0034-0371 e 0047-1067. Algumas observações podem ser feitas: possivelmente a feição ígnea descrita anteriormente afetou a plataforma carbonática, ao menos com a movimentação de falhas podendo estar relacionada à intumescência do corpo ígnea. Contrariando a hipótese levantada por Pasley et al. (2005), as trapas paleogeomórficas impressas na plataforma carbonática estariam associada ao afogamento da bacia e ação de correntes de contorno. Tal hipótese é aventada, pois na parte rasa desta plataforma os refletores sísmicos são contínuos, o que permite interpretar a não existência de feições erosivas. Em contrapartida, feições erosivas ocorrem em águas mais profundas, mais precisamente na quebra da plataforma. 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 rochas de granulometria fina logo acima da Formação Amapá, sugerindo que não houve exposição sub-aérea, e que acima dos carbonatos ocorria um ambiente de baixa energia.

8.6 Cone Amazônico

Para a seção do cone, a integração completa das correlações estratigráficas com as linhas sísmicas auxiliou no entendimento da disposição de corpos com boas características permo-porosas (reservatórios) ao longo da bacia. Porém, não foi constatado conectividade desses corpos arenosos na seção cone. Foi possível verificar que os diversos ciclos progradacionais, como mostrado nas linhas interpretadas, que na teoria configuram excelentes reservatórios não possuem uma boa continuidade lateral. Assim, pode-se concluir que a ausência de continuidade lateral dos ciclos progradacionais ficou comprometida por dois motivos: (1°) *shift* lateral comum em um delta e (2°) alterações dos subambientes deltaicos; ambas as razões reconhecidas em linhas sísmicas interpretadas neste trabalho. Discordâncias foram reconhecidas em linhas sísmicas na região do cone, porém não ficou claro se estas têm um caráter regional. O que se observa é que na região do Campo de Pirapema tais feições erosivas foram descritas nos perfis dos quatro poços inclusive o de águas mais profundas (1-APS-53-AP), representando sedimentos de frente deltaica, que estão preservados em águas atualmente mais profundas, em relação à linha de costa atual.

9 CONCLUSÕES

A partir dos resultados alcançados neste trabalho foi possível obter as seguintes conclusões sobre a Bacia da Foz do Amazonas:

1) Na linha 0047-1067 foi identificada uma intrusão ígnea que afeta as sequências pré-rifte, rifte (formações Caciporé e Codó) e mesmo a sequência pós-rifte (base da Formação Limoeiro). Fica claro que a feição ígnea não é restrita à fase pré-rifte, porém amostras datadas deste material magmático indicam uma idade triássica (cerca de 200 Ma). Os pulsos no centro do corpo ígneo podem ser mais novos do que 200 Ma.; relacionados à reativações de falhas. Há também evidências que este evento vulcânico no mínimo afetou os carbonatos subjacentes, uma vez que falhas associadas à feição ígnea atingem os mesmos. Tal efeito pode estar associado à intumescência local.

2) A feição ígnea pode ter sido o substrato para a formação de uma plataforma mista (intercalação de siliciclásticos com carbonatos) que na bacia estaria representada pela Formação Limoeiro e, posteriormente para a implantação da espessa plataforma carbonática Amapá. Esta feição ígnea criou grandes estruturas, que podem ser interessantes alvos exploratórios. Uma ferramenta útil para o reconhecimento dessas feições vulcânicas são os levantamentos magnetométricos e gravimétricos, como o levantamento EMAG2 utilizado pelo presente trabalho.

3) A Formação Limoeiro possui superfícies de descolamento ativas muito antes da deposição do Cone Amazônico. Tal fato foi observado em algumas linhas sísmicas (0034-0371, 0038-0733 e 0038-0737). Isto ocorre devido a dois fatores principais: pelo fato da Formação Limoeiro ser constituída por uma significativa quantidade de folhelhos, que geralmente são susceptíveis a geração de tectônica gravitacional e em função do espessamento da plataforma carbonática subjacente, criando sobrecarga nos folhelhos da Fm. Limoeiro.

4) Emery & Myers (1996) descrevem o processo de *Platform Drowning* para exemplificar o afogamento de uma plataforma por sedimentos siliciclásticos em nível do mar relativamente alto. A caracterização de um afogamento no Tortoniano traz expectativas para a Formação Amapá, a qual poderia ser entendida como um novo reservatório para bacia. Assim, estudos mais específicos voltados para a compreensão da tectônica pré-cone, bem como uma análise da evolução da plataforma carbonática e a estruturação dos carbonatos da Formação Amapá parecem ser adequados. Resultados obtidos no poço 1-APS-21-AP, que tinha como objetivo a plataforma carbonática do Amapá, localizaram reservatórios dolomíticos exatamente no topo da desta formação, sendo os mesmos considerados subcomerciais em condensado e gás. Os poços 1-APS-36-AP e 1-APS-16C-AP também possuíam o mesmo objetivo, mas não lograram sucesso.

Há uma alternativa de interpretação para a geração de cânions observados na linha 0047-1067. Ao invés de uma queda relativa do nível do mar, foram observadas evidências de que tais feições erosivas podem ter sido geradas pela ação de correntes de contorno, pelo fato de que a parte mais rasa da plataforma carbonática não ter sido exposta e erodida. Poços que perfuraram a plataforma carbonática

indicam que logo acima dos carbonatos há sedimentação fina de baixa energia (siltitos e folhelhos).

5) A plataforma do Amapá, a partir dos dados analisados, pode ser considerada uma plataforma do tipo escarpada, semelhante ao que ocorre na região do Caribe. A linha *dip* 0034-0371 mostra que aparentemente a plataforma carbonática está falhada e blocos da Fm. Amapá escorregaram talude abaixo.

6) As correlações estratigráficas na região do Cone Amazônico indicaram uma complexa correlação litológica lateral. Foram marcadas as progradações deltaicas, que em seu topo indicam um *coarsening upward* (aumento da granulometria da base para o topo do pacote sedimentar analisado). Porém, a correlação estratigráfica não detectou corpos arenosos com continuidade lateral significativa, embora os perfis de raios gama, por vezes, indicassem *coarsening upward* em ciclos progradacionais típicos de deltas. Tal fato está relacionado a dois motivos: *shift* lateral do delta e mudança de ambiente deltaico (prodelta, frente deltaica e planície deltaica) como mostrado nas linhas sísmicas interpretadas (0034-0065 e 0222-0777).

Outra questão interessante sobre o Cone Amazônico está relacionada ao início da deposição do mesmo. A tectônica gravitacional que afetou o Cone Amazônico pode ter reativado algumas falhas pré-existentes correlatas a uma tectônica gravitacional associada à sobrecarga sedimentar da plataforma carbonática.

7) Recentes descobertas de hidrocarbonetos no oeste africano (Jubilee e Tweneboa) e Zaedyus (Guiana Francesa) em arenitos turbidíticos contemporâneos à deposição da Fm. Limoeiro, nos leva a acreditar que a área do Cone Amazônico não seria a mais propícia para a investigação deste possível *play* para a margem equatorial brasileira, devido a espessura sedimentar do mesmo que pode ser superior a 10.000 metros.

8) A ação e erosão de correntes de contorno pelo menos concomitantes à deposição da Fm. Amapá, e que ainda ocorrem até hoje, indicam que uma enorme quantidade de sedimento foi retirado da Bacia da Foz do Amazonas. Atualmente, é conhecida a ação de fortes correntes na Margem Equatorial brasileira, principalmente na Foz do Amazonas. Ao menos a cerca de 11 Ma. há atividade de correntes retirando sedimentos da área de estudo para as regiões do Caribe.

10 RECOMENDAÇÕES

Como recomendação destaca-se a necessidade de um estudo petrográfico detalhado das dolomitas existentes e amostradas nos poços (1-APS-16C-AP e 1-APS-21-AP), que podem concluir sobre a origem das mesmas, como por exemplo, estudos isotópicos.

Outra questão importante é como a tectônica pré-Tortoniano afeta a Plataforma Carbonática do Amapá. Estudos mais específicos sobre o tema ajudariam a entender melhor possíveis rotas de migração ou até mesmo descartar por completo a possibilidade dos carbonatos associados a essa plataforma como rocha reservatório.

Um ponto que precisa ser revisto é relativo às idades das intrusões ígneas na área estudada, que em trabalhos anteriores é estimada em 200 Ma. Atualmente, metodologias de datação mais recentes e acuradas poderiam ajudar a obter uma idade mais precisa desta feição ígnea (rochas básicas) dentro da região dos grabéns e de diversos pulsos magmáticos. Como exposto neste trabalho, é possível que as intrusões ígneas sejam mais novas do que as datações que constam na literatura.

Por fim, este estudo demonstra o quanto a Bacia da Foz do Amazonas é complexa em seu preenchimento, principalmente, na seção do cone e demonstra que a evolução tectonoestratigráfica ainda não foi totalmente compreendida. Esse trabalho teve como finalidade principal fomentar o interesse pela bacia, uma vez várias possibilidades exploratórias ainda não foram testadas.

REFERÊNCIAS

- BHATTACHARYA, J. P. Deltas. In: WALKER, R.G; POSAMENTIER, H., (Ed.). **Facies Models Revisited**. Oklahoma: SEPM, 2006. v. 84, p.237-292. Special Publication.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003.
- BRANDÃO, J. A. S. L.; FEIJÓ, F. J. Bacia da Foz do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 91-100, 1994.
- CAMERON, W. M.; PRITCHARD, D. W. Estuaries. In: HILL, M.N. (Ed.) **The Sea**. New York: John Wiley, 1963. v.2, p. 306-324.
- CATUNEANU, O.; BHATTACHARYA, J.P.; BLUM, M.D.; DALRYMPLE, R.W.; ERIKSSON, P.G.; FIELDING, C.R.; FISHER, W.L.; GALLOWAY, W.E.; GIANOLLA, P.; GIBLING, M.R.; GILES, K.A.; HOLBROOK, J.M.; JORDAN, R.; KENDALL, C.G.ST.C.; MACURDA, B.; MARTINSEN, O.J.; MIALI, A.D.; NUMMEDAL, D.; POSAMENTIER, H.W.; PRATT, B.R.; SHANLEY, K.W.; STEEL, R.J.; STRASSER A. & TUCKER, M.E. Sequence stratigraphy: common ground after three decades of development. **First Break**, v. 28, pag 21-34, January, 2010.
- COLEMAN, I.M.; WRIGHT, L.D. Modern River Deltas: Variability of Processes and Sand Bodies. In: BROUSSARD, M.L. (Ed.). **Deltas: Models for Exploration**. Houston, Houston Geological Society, 1975.
- EMERY, D.; MYERS, K.,. **Sequence Stratigraphy**. Oxford: Blackwell Scientific Company, 1996. 297 p.
- FIGUEIREDO, J.J.P. Orbital control on cyclic Pleistocene sedimentation in the Amazon Mouth Basin. In: **LATIN AMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY**, 2003, Belém - Pará – Brazil, June 8 - 11, 2003.
- FIGUEIREDO, J. J. P.; ZALAN, P. V.; SOARES, E. F. Bacia da Foz do Amazonas. **B. Geoci. Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 299-309, maio/nov. 2007.
- FUGITA, A.M. Brasil Round 4: Foz do Amazonas Basin In: SEMINÁRIO JURÍDICO/FISCAL E WORKSHOP TÉCNICO DA QUARTA RODADA DE LICITAÇÕES. Disponível em: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/round4/workshop/restrito/ingles/FozdoAmazonas_ing.PDF Acesso em: 20 dez. 2011.
- GALLOWAY, W.E. Process framework for describing morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In: BROUSSARD, M.L., (Ed.). **Deltas, Models for Exploration**. Houston: Houston Geological Society, 1975. p. 87 – 98.
- Geomagnetism. Grid de anomalia magnética da Terra, Disponível em: <http://geomag.org/models/emag2.html>. Acesso em: 22 mar 2011

HOORN, C., Birth of the mighty Amazon **Scientific American**, [S.l.], p.66-73, April, 2006.

MELLO, M.R.; MOSMANN, R.; SILVA, S.R.P.; MACIEL, R.R., & MIRANDA, F.P., 2001. Foz do Amazonas area: The last frontier for elephant hydrocarbon accumulations in the South Atlantic realm, In: DOWNEY, M. W.; THREET, J. C.; MORGAN, W .A. (Ed.). **Petroleum provinces of the twenty-first century**. Tulsa: AAPG, 2001., p. 403–414. (AAPG Memoir 74).

MITCHUM JR., R. M.; VAIL, P. R.; SANGREE, J. B., 1977. Seismic stratigraphy and global change of sea level, Part 6: Stratigraphic Interpretation of seismic reflections patterns in depositional sequences. In: PAYTON, C. E. (Ed.). **Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration**. Tulsa: AAPG, 1977. p. 117-133. (AAPG Memoir 26).

PASLEY, M.A.; SHEPHERD, D.B.; POCKNALL, D.T.; BOYD, K.P.; ANDRADE, V., & FIGUEIREDO, J.P., 2005. Sequence Stratigraphy and Basin Evolution of the Foz do Amazonas Basin, Brazil. **Search and discovery**. Disponível em: www.searchanddiscovery.net/documents/2005/pasley/images/pasley.pdf Acesso em: 17 jan. 2011.

PEROVANO, R.; REIS, A.T.; SILVA C.G.; VENDEVILLE B.C.; GORINI C.; FERREIRA E. & MATTIODA J. A tectônica gravitacional na Bacia da Foz do Amazonas – Leque Submarino do Amazonas: estruturação de um sistema gravitacional sob influência de múltiplos níveis de destacamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 3., 2008, Belém. **Anais...** Belém: SBF, 2008. p. 6.

POSAMENTIER, H. W.; JERVEY, M. T.; VAIL, P. R., 1988. Eustatic controls on clastic deposition. I.: conceptual framework. In: WILGUS, C. K et al. (Ed.). **Sea-Level Changes: An Integrated Approach**. Oklahoma: SEPM, 1988. v. 42, p. 109–124. Special Publication.

SCHENK C. J.; HIGLEY, D.K.; MAGOON, L. B. Region 6 assessment summary - Central and South America. In: **U.S. Geological Survey world petroleum assessment 2000**: description and results: U.S. Geological Survey Digital Data Series DDS-60, CD-ROM,. Disponível em: <http://energy.cr.usgs.gov/WEcont/regions/reg6/R6chap.pdf>. Acesso em: 5 out. 2011

SILVA, S. R. P.; MACIEL, R. R.; SEVERINO, M. C. G. Cenozoic tectonics of Amazon Mouth Basin. **Geo-Marine letters**, [S.l.], v. 18. n. 3, p. 256-262, 1999.

VAIL, P. R.; MITCHUM, JR., R. M.; THOMPSON, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: Relative changes of sea level from coastal onlap. In: CLAYTON, C.E. (Ed.). **Seismic Stratigraphy**: Applications to Hydrocarbon Exploration. Tulsa: AAPG, 1977. p. 63-81. (AAPG Memoir 26).

VAN WAGONER, J.C., MITCHUM, R.M., POSAMENTIER, H.W. AND VAIL, P.R. An overview of sequence stratigraphy and key definitions. In: BALLY, A. W. (Ed.). **Atlas of Seismic Stratigraphy**. Tulsa: AAPG, 1987. v. 1, p. 11-14. (AAPG Studies in Geology 27).

WILSON, J. L. **Carbonates facies in geological history**. New York: Springer-Verlag, 1975. 471 p.