

## Interpretação sísmica 2D e modelagem 3D sísmo-estratigráfica e estrutural de uma área-alvo da Bacia do Parnaíba

Rafael Mansano Holanda\*, Eduardo Nascimento Paixão, João Carlos Ribeiro Cruz, Pedro Andrés Chira Oliva, UFPA

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

This work consists of 2D seismic interpretation of nine seismic lines located in the Parnaíba Basin and the construction of a 3D seismic-stratigraphic and structural models of the target area from this interpretation. The nine seismic lines used in this study constitute a project of the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP), which aims to estimate the oil potential of the Parnaíba Basin. To perform seismic interpretation and construction of 3D geological model was used software GOCAD (Geological Object Computer Aided Design).

### Introdução

A Bacia do Parnaíba está localizada na região nordeste ocidental brasileira, abrangendo uma área de aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup>, com espessura sedimentar máxima em torno de 3.500 metros (VAZ et al., 2007). Trata-se de uma bacia intracratônica situada entre faixas de dobramentos que bordejam os crátons do Amazonas, São Luis e São Francisco (CUNHA 1986), com sedimentos depositados do Siluriano ao Cretáceo, e rochas intrusivas e extrusivas ligadas a eventos magmáticos de idades Jurotriássica a Eocretácia (GÓES; FEIJÓ, 1994).

As linhas sísmicas utilizadas neste trabalho localizam-se na porção sudeste da Bacia do Parnaíba, mais especificamente na região centro-sul do estado do Piauí, com 1600 km de extensão linear e abrangendo mais de 55.000Km<sup>2</sup>. As nove linhas são denominadas Linhas 0295-0001, 0295-0002, 0295-0004, 0295-0005, 0295-0006, 0295-0007, 0295-0008 e 0295-0009. A Linha 0295-0009 foi planejada para passar sobre o poço 1-FL-1-PI para possibilitar uma integração dos dados para possibilitar uma interpretação sísmoestratigráfica dos horizontes sísmicos correspondentes a geologia da área. Essas linhas integram um projeto da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) que recebeu o nome de 0295\_ANP\_2D\_PARNAIBA (TEIXEIRA, 2010). O Mapa Geológico da Bacia do Parnaíba evidencia o esforço exploratório na bacia, com as nove linhas sísmicas do projeto 0295\_ANP\_2D\_PARNAIBA, e as formações aflorantes na área onde foi realizada a aquisição sísmica (Fig. 1).

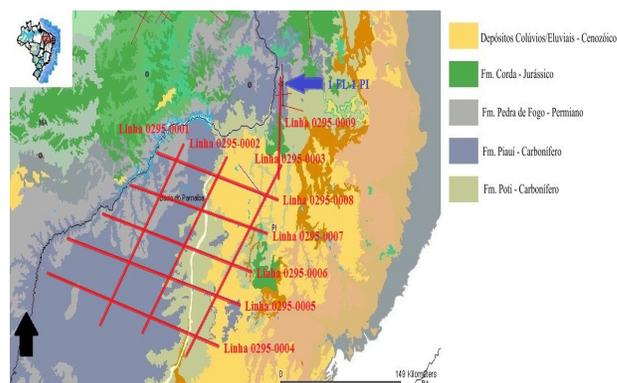


Figura 1: Mapa Geológico mostrando o esforço exploratório da Bacia do Parnaíba com as nove linhas sísmicas do projeto 0295\_ANP\_2D\_PARNAIBA (em vermelho) e as formações aflorantes na área. A seta (em azul) indica a localização do poço 1-FL-1-PI. Fonte: Modificado de ANP (2013).

Este trabalho tem como finalidade realizar a interpretação sísmica 2D das nove linhas sísmicas migradas em tempo pós-stack e, com base nessa interpretação, construir um modelo geológico 3D da região de interesse em subsuperfície. Para isso, utilizou-se o software GOCAD (Geological Object Computer Aided Design), que auxiliou na interpretação sísmica 2D das linhas sísmicas e compreensão das estruturas e feições geológicas presentes na Bacia do Parnaíba, através da visualização 3D.

### Metodologia

As imagens de cada seção sísmica foram importadas como objetos Voxet. Um objeto Voxet é definido como uma malha regular constituída por células (GOCAD, 2008). Em seguida; as seções sísmicas foram movidas através do 3D Viewer até corresponderem aos seus respectivos cruzamentos e inclinações (Fig. 2). Após mover as seções sísmicas para os seus respectivos posicionamentos (Fig. 3), foram identificados os refletores de cada seção gerados pelo contraste de impedância acústica entre os pacotes de rocha. Cada refletor identificado foi digitalizado a partir de pontos em todas as seções sísmicas. Em seguida, foram criadas curvas (horizontes) a partir do conjunto de pontos digitalizados para cada refletor. Os refletores que apresentaram continuidade foram interpretados para as demais seções sísmicas.

A interpretação sísmica foi realizada com base no perfil composto do poço 1-FL-1-PI que passa sobre a Linha 0295-0009, o que possibilitou a calibração e a correlação com os horizontes da sísmica. Como base na interpretação realizada por Pinheiro (2011) e por Teixeira

(2010) no trecho da Linha 0295-0009, que intercepta o poço Floriano, foi feita uma interpretação da Linha 0295-0009 completa. Isso possibilitou a interpretação dos mesmos horizontes para a Linha 0295-0003, que a intercepta. E assim para as Linhas 0295-0008, 0295-0007, 0295-0006, 0295-0005 e 0295-0004 que interceptam a Linha 0295-0003. E finalmente a interpretação das Linhas 0295-0001 e 0295-0002 que interceptam as Linhas 0295-0008, 0295-0007, 0295-0006, 0295-0005 e 0295-0004. Essa interpretação só foi possível pelo fato dos refletores apresentarem continuidade ao longo das seções sísmicas.

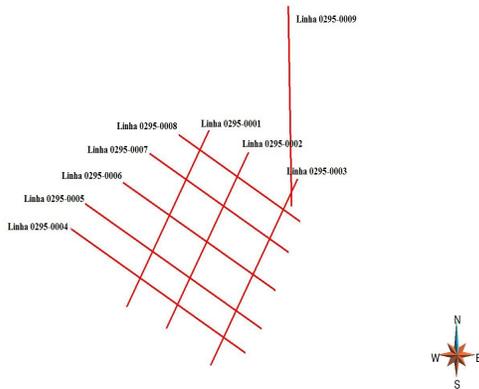


Figura 2: Imagem gerada do software GOCAD mostrando o cruzamento e as respectivas inclinações das Linhas 0295-0001, 0295-0002, 0295-0004, 0295-0005, 0295-0006, 0295-0003, 0295-0007, 0295-0008 e 0295-0009 utilizadas neste trabalho.

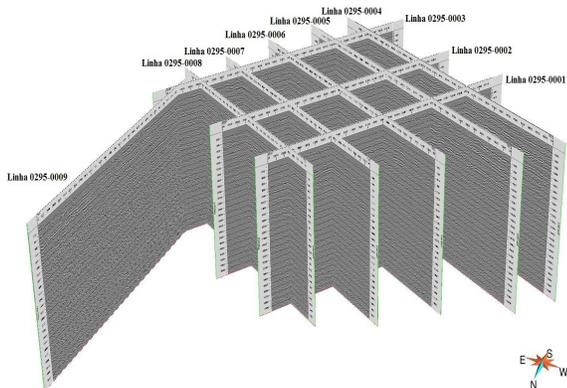


Figura 3: Visualização 3D no GOCAD das nove linhas sísmicas com seus respectivos tamanhos e posicionamentos.

As curvas que representam os horizontes sísmicos são os dados de entrada para o módulo Building a Structural Framework, onde as curvas que representam a mesma camada são agrupadas para, em seguida, ser criado um volume de interesse. A partir desse volume são criadas superfícies que representam os horizontes das seções sísmicas. Por último é feita a modelagem das superfícies, de modo que elas passem pelos pontos que compõem as curvas que representam os horizontes sísmicos e dos contatos entre as superfícies que se interceptam.

As superfícies são criadas através da conexão de triângulos compostos de três átomos, um em cada canto

(GOCAD, 2008). Dessa forma, as superfícies podem ser caracterizadas e modeladas conforme a forma de preferência.

Após a construção de um modelo estrutural 3D torna-se possível a construção de um modelo estratigráfico 3D através do módulo 3D Reservoir Grid Builder. Para isso, foram selecionadas as superfícies 2D do topo e da base que controlarão a configuração do modelo e em seguida foram construídas malhas da área de controle da estrutura do modelo e das unidades intermediárias para a geração de camadas do modelo 3D.

**Interpretação Sísmica 2D**

Na interpretação sísmica 2D, nove refletores que apresentavam continuidade ao longo das seções sísmicas foram mapeados a partir do topo da Formação Poti até o que foi chamado de Embasamento. Esses refletores são na ordem da base para o topo: Embasamento (vermelho), Formação Ipu (laranja), Formação Jaicós (azul-marinho), Formação Itaim (rosa claro), um refletor muito marcante de idade Devoniano Médio (amarelo), Formação Pimenteiras (azul-claro), Formação Cabeças (rosa), Formação Longá (verde) e Formação Poti (roxo).

A Fig. (4) mostra a interpretação dos horizontes sísmicos marcados na Linha 0295-0009 para a Linha 0295-0003. E assim para as Linhas 0295-0008, 0295-0007, 0295-0006, 0295-0005 e 0295-0004 que interceptam a Linha 0295-0003.

As Figs. (5), (6), (7), (8) e (9) mostram a interpretação e extrapolação dos horizontes sísmicos marcados na Linha 0295-0003 para as Linhas 0295-0008, 0295-0007, 0295-0006, 0295-0005 e 0295-0004; respectivamente.

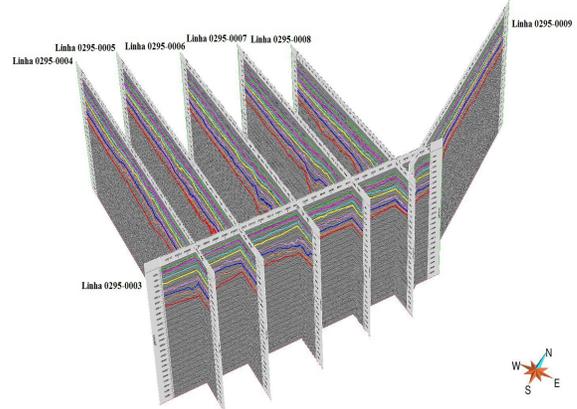


Figura 4: Visualização 3D da interpretação dos horizontes sísmicos realizada a partir da Linha 0295-0009 para as demais linhas sísmicas.

Nas Linhas 0295-0008, 0295-0007, 0295-0006 observam-se que aparentemente apenas as camadas abaixo da Formação Pimenteiras (azul-claro) sofreram subsidência, visto que os refletores acima desta formação se encontram praticamente paralelos e horizontais, o que indica que tal estrutura é anterior a deposição dos sedimentos que deram origem a Formação Pimenteiras. Identifica-se um truncamento erosivo na Formação Poti.

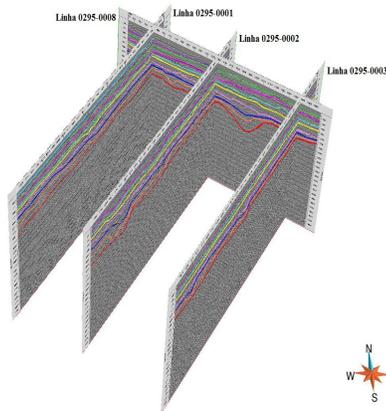


Figura 5: Visualização 3D da Linha 0295-0008 e de todas as seções que a intercepta com os horizontes sísmicos interpretados.

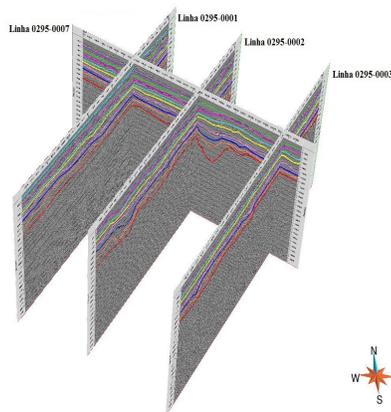


Figura 6: Visualização 3D da Linha 0295-0007 e de todas as seções que a intercepta com os horizontes sísmicos interpretados.

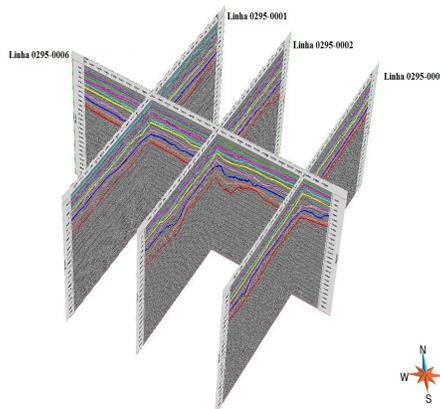


Figura 7: Visualização 3D da Linha 0295-0006 e de todas as seções que a intercepta com os horizontes sísmicos interpretados.

Presenças de feições dômicas, como observado principalmente no refletor da Formação Itaim (rosa), podem estar relacionadas a rochas intrusivas magmáticas, as quais apresentam-se na sísmica como corpos tabulares. A ocorrência desse magmatismo está associada ao Lineamento Transbrasiliiano.

Nas Linhas 0295-0005 e 0295-0004 observa-se subparalelismo, possivelmente associado a uma taxa de

deposição uniforme dos estratos, e um baixo estrutural pouco acentuado no embasamento. Isso está relacionado ao fato dos eixos deposicionais da bacia serem mais expressivos e apresentarem maior subsidência na parte norte e nordeste da bacia (GOÉS, 1990), em função do Lineamento Transbrasiliiano.

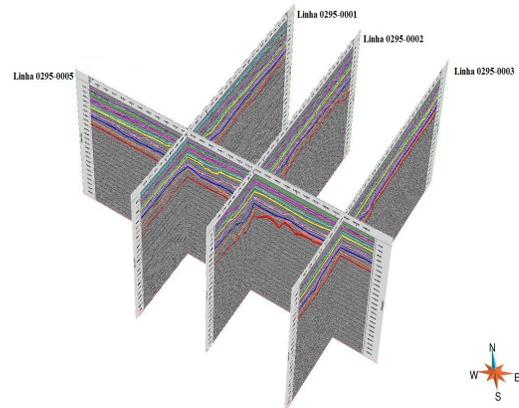


Figura 8: Visualização 3D da Linha 0295-0005 e de todas as seções que a intercepta com os horizontes sísmicos interpretados.

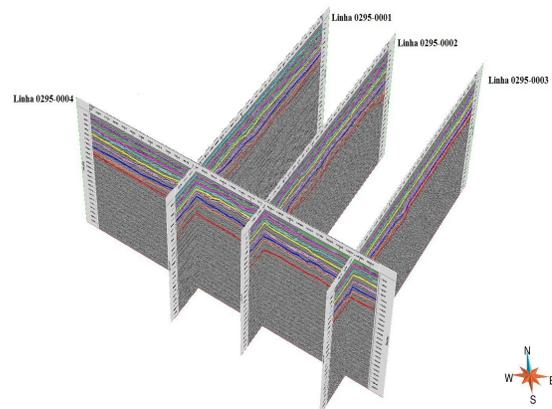


Figura 9: Visualização 3D da Linha 0295-0004 e de todas as seções que a intercepta com os horizontes sísmicos interpretados.

As Figs. (10) e (11), mostram a interpretação dos horizontes sísmicos marcados nas Linhas 0295-0008, 0295-0007, 0295-0006, 0295-0005 e 0295-0004 para as Linhas 0295-0001 e 0295-0002; respectivamente.

Na Linha 0295-0001 observa-se um subparalelismo entre as camadas empilhadas, possivelmente relacionado a uma taxa de deposição uniforme dos estratos.

Na Linha 0295-0002, por se tratar da linha com strike paralelo ao Lineamento Transbrasiliiano, observa-se picos que podem representar corpos de rochas intrusivas magmáticas, que indicam a ocorrência de intenso magmatismo na porção onde está situada essa linha. Outra observação importante é a profundidade do embasamento, mais profunda nesta linha quando comparada com as Linhas 0295-0001 e 0295-0003, e a espessura entre os refletores que são bem mais expressivas. Esses fatores estão associados com a proximidade ao Lineamento Transbrasiliiano.

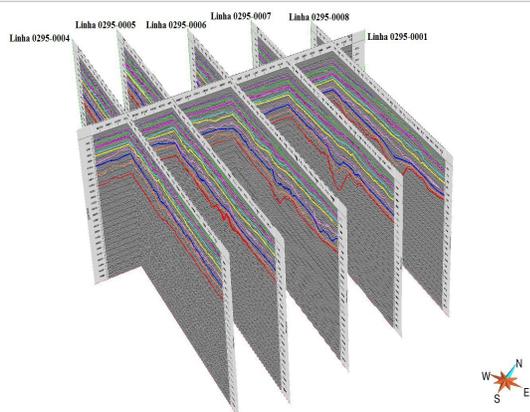


Figura 10: Visualização 3D da Linha 0295-0001 e de todas as seções que a intercepta com os horizontes sísmicos interpretados.

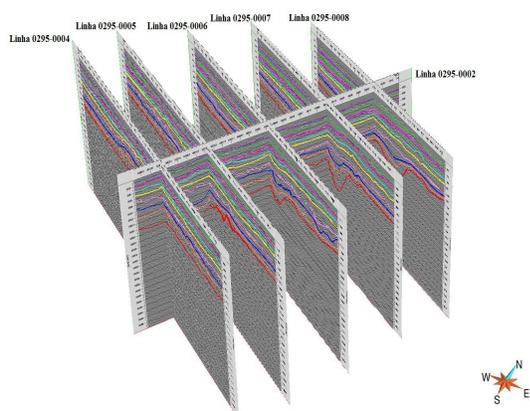


Figura 11: Visualização 3D da Linha 0295-0002 e de todas as seções que a intercepta com os horizontes sísmicos interpretados.

**Modelagem 3D Sismo-Estratigráfica e Estrutural**

O modelo estrutural 3D construído possui nove superfícies (Fig. 12) que representam o topo das camadas da subsuperfície da área-alvo da Bacia do Parnaíba. As superfícies são na ordem da base para o topo: Embasamento (vermelho), Formação Ipu (laranja), Formação Jaicós (azul-marinho), Formação Itaim (rosa claro), um refletor muito marcante de idade Devoniano Médio (amarelo), Formação Pimenteiras (azul-claro), Formação Cabeças (rosa), Formação Longá (verde) e Formação Poti (bege).

Observa-se que aparentemente apenas as camadas abaixo da Formação Pimenteiras (azul-claro) sofreram subsidência, visto que os refletores acima desta formação se encontram praticamente paralelos e horizontais, o que indica que tal estrutura é anterior a deposição dos sedimentos que deram origem a Formação Pimenteiras, o que ratifica a interpretação sísmica 2D. Essas feições de baixo estruturais estão provavelmente associadas ao Lineamento Transbrasiliiano.

Verifica-se uma configuração de *pinch-out* (acunhamento, terminação de uma camada geológica onde a espessura se reduz gradativamente) nas laterais das regiões de depocentro, principalmente nas camadas das Formações Jaicós e Ipu, apresentando-se mais

espessas na direção do baixo estrutural e menos espessas nas laterais do depocentro. A visualização desses depocentros permite traçar melhor a trajetória *dip* e *strike* do Lineamento Estrutural Transbrasiliiano.

Observam-se picos nas superfícies das formações. Infere-se que essas feições representam corpos de rochas intrusivas magmáticas, indicando a ocorrência de intenso magmatismo na área, devido ao contexto de proximidade do Lineamento Transbrasiliiano.

Na interpretação sísmica e no modelo estrutural 3D, identifica-se um truncamento erosivo na Formação Poti. Essa erosão está associada aos movimentos epigênicos ascendentes e uma regressão de extensão global (CAPUTO, 1984) que aconteceram após a deposição da Formação Poti, no Mesocarbonífero. Esses fenômenos ocorreram provavelmente em consequência à Orogênese Eo-herciniana. O Mapa Geológico da Bacia do Parnaíba expõe as formações aflorantes na área onde foi realizado o levantamento sísmico.

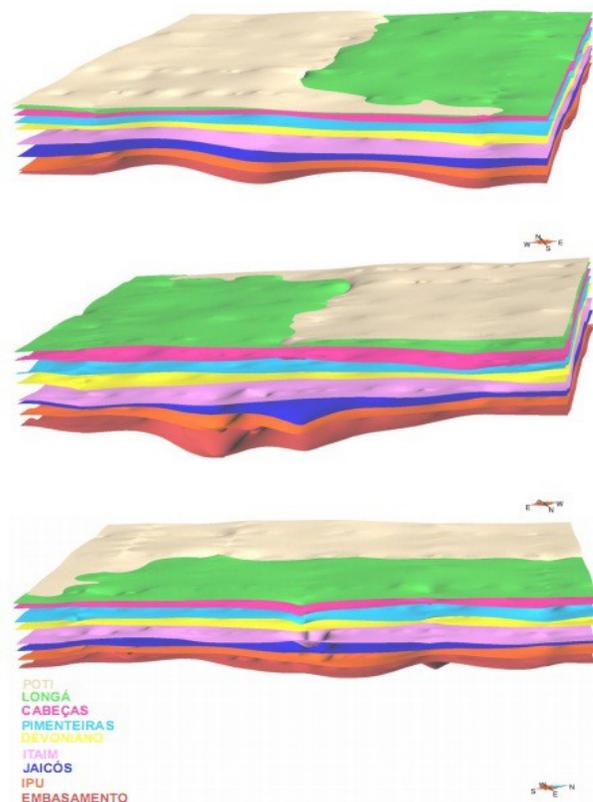


Figura 12: Visualizações 3D do modelo estrutural da área-alvo da Bacia do Parnaíba.

Para o modelo estratigráfico 3D construído (Fig. 13), não foi considerado a superfície que representa o topo da Formação Poti. Por isso, este modelo estratigráfico possui apenas sete camadas que são: Formação Ipu, Formação Jaicós, Formação Itaim, Formação Devoniano, Formação Pimenteiras, Formação Cabeças e Formação Longá. As formações que estão relacionadas ao sistema petrolífero da Bacia do Parnaíba, que são a Formação Pimenteiras como o principal gerador potencial do hidrocarboneto e a Formação Cabeças como o principal reservatório potencial da Bacia do Parnaíba, são

mostradas com destaque através da visualização do modelo estrutural 3D (Fig. 14).

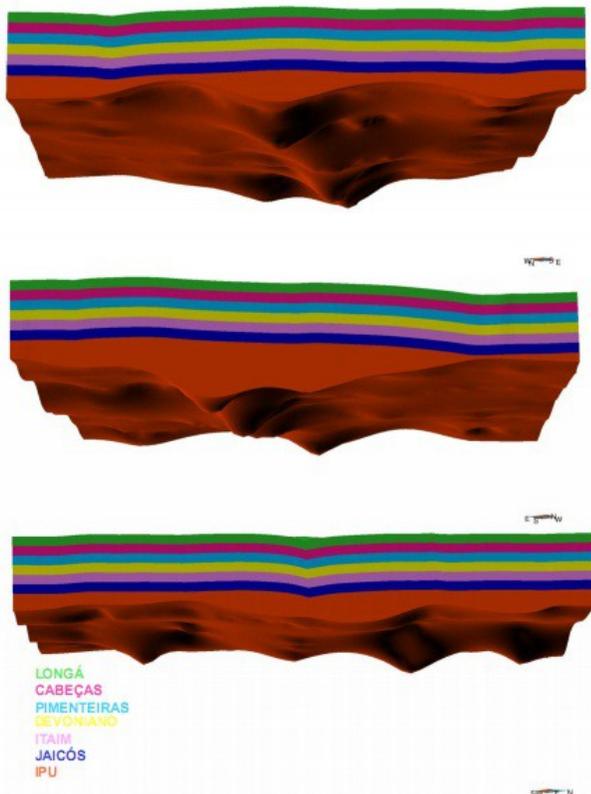


Figura 13: Visualizações 3D do modelo estratigráfico da área alvo da Bacia do Parnaíba.

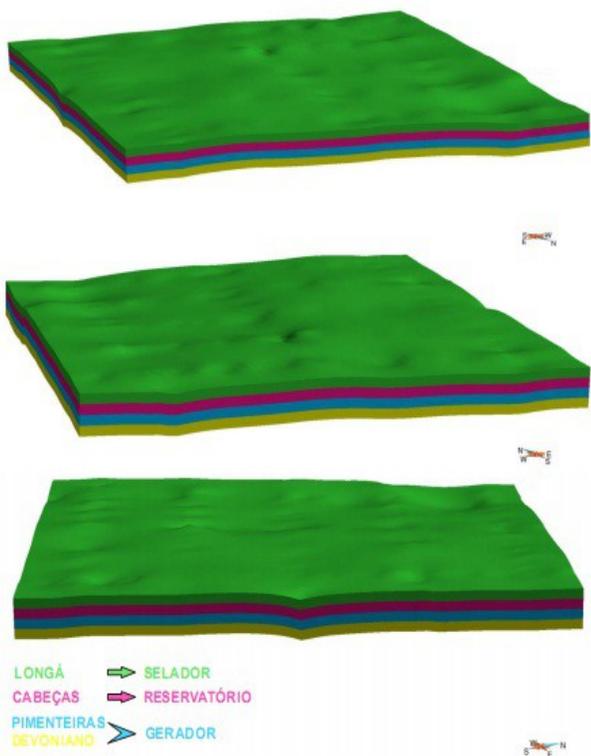


Figura 14: Visualizações 3D do principal sistema petrolífero potencial da área alvo da Bacia do Parnaíba.

## Conclusões

A Modelagem Geológica 3D, aliada com a interpretação sísmica, se mostra uma ferramenta de grande utilidade para o estudo de bacias sedimentares; revelando com clareza estruturas e as relações do embasamento com o pacote sedimentar.

Com a interpretação sísmica 2D e modelagem 3D sismo-estratigráfica e estrutural, construída neste trabalho, foi possível observar algumas regiões que sugerem ser depocentros, provavelmente relacionadas ao Lineamento Transbrasiliano, principal lineamento regional da Bacia do Parnaíba.

Foram identificados fatores que podem ser favoráveis à geração de hidrocarbonetos como: a presença de rochas com quantidade e qualidade de matéria orgânica, o soterramento do pacote sedimentar tanto em rocha geradora como em rocha reservatório nos baixos estruturais da bacia e de rochas ígneas que podem auxiliar tanto na geração, através de efeito térmico, como no selo de diferentes reservatórios.

Foram visualizadas as feições geológicas do topo da Formação Pimenteiras, que é o gerador potencial principal dessa bacia, e da Formação Cabeças, que é o reservatório potencial; contribuindo assim para avanços nos estudos relacionados a Geologia do Petróleo da Bacia do Parnaíba.

## Referências

AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO (ANP). Bancos de dados. Disponível em: <<http://www.bdep.gov.br/>>. Acessado em 02 de Janeiro de 2013.

CUNHA, F. M. B. **Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico**. 1986. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, 1986.

GOCAD. **Gocad 2.5.2. user's guide**. [S.l.]: GOCAD consortium, 2008.

GÓES, A. M. O.; SOUZA, J. M. P.; TEIXEIRA, L. B. Estágio explorativo perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, Rio de Janeiro, v.4, n. 1, p. 55-64. 1990.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ J. F. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p.57-67. 1994.

PINHEIRO, A. G. **Interpretação sísmica 2D e modelagem geológica 2,5D da Bacia do Parnaíba**. 2011. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geofísica) – UFPA, Faculdade de Geofísica, Belém, 2011.

TEIXEIRA, F. S. **Análise estrutural e estratigráfica de feições geológicas através da interpretação de seções sísmicas e de mapas gravimétricos, na porção Leste da Bacia do Parnaíba, PI**. 2010. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, maio/nov. 2007.

#### **Agradecimentos**

A Universidade Federal do Pará e a Faculdade de Geofísica pelos equipamentos e espaço cedido.

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pelo fornecimento dos dados sísmicos utilizados.

Ao consórcio GOCAD pela utilização do software.