

Multivolume interpretation essay in Santos Basin and identification of tectonic and stratigraphic features from 2D and 3D seismic data

Diogo Michelin*, ex-bolsista PRH05/ANP-UNESP, Brasil
Iata Anderson de Souza, UNESP, Brasil
Márcio Spínola, LANDMARK, Brasil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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

Having in mind the importance of Santos Basin for exploration and characterization of hydrocarbon plays and the relationship of tectonic structures generated during Santos Basin evolution, this work presents an attempt of regional and volumetric interpretation experiment using 2D and 3D multivolume seismic data, section restoration and sealed framework building, enabling mapping and accurate fault polygons generation in 3D. Emphasis on structural model in order to try to better understand and identify situations where reactivation structures from basement, normally observed and caused by uplift of Mantiqueira and Serra do Mar, became favorable for the sedimentary accumulation during Neocretaceous. Such structures are identified, among others aspects, by section growing that are shown in this work. This growing features may also be related to strike slip faults. As a result, nine horizons were generated representing the Top Basement, Rift phase, Ariri Formation, Albian, Santonian, Campanian, Cretaceous, Eocene and Mesozoic.

Introdução

A Bacia de Santos constitui importante alvo de investigações geológicas, pois registra os processos tectônicos Mesozóicos da fragmentação de Gondwana Ocidental, que resultou na abertura do Atlântico Sul e na separação entre América do Sul e África. Esses processos foram responsáveis pela manifestação magmática e geração de estruturas rúpteis que influenciaram na compartimentação da bacia e na acumulação de sedimentos durante a fase *rift*. Posteriores reativações causadoras do soerguimento das Serra do Mar e da Mantiqueira acentuaram os processos erosivos no continente, favorecendo o grande acúmulo de sedimentos terrígenos para a Bacia de Santos, durante o Neocretáceo (Almeida et al., 1998; Macedo, 1987). Sendo essencialmente marinha, a Bacia de Santos, apresenta um amplo potencial para novas descobertas. O entendimento de todos esses processos tem sido buscado com impulso da importância econômica para a investigação e exploração de petróleo e gás, que é agora potencializada pelas descobertas mais recentes na porção do Pré-sal.

Por esses e outros motivos, a Bacia de Santos é objeto de estudos acadêmico e industrial para avaliação do seu

potencial de HC visando obter cada vez maior conhecimento através das interpretações geológicas utilizando dados sísmicos, dados de poços, métodos potenciais, etc, sendo que o conhecimento do arcabouço tectônico, e sua relação com a evolução da bacia são fundamentais para isso.

Este trabalho apresenta um ensaio sobre interpretação regional e volumétrica, utilizando técnicas 2D e 3D, atributos sísmicos, restauração de seção e geração de arcabouço estrutural selado, possibilitando mapeamento e geração dos polígonos de falha em 3D de maneira precisa. Para tanto, foram utilizados dados públicos, cedidos à Unesp, através do Programa de Gratuidade as Universidades do BDEP. Foi utilizada uma seção sísmica 2D de aproximadamente 330 km e um volume sísmico de 20 km², da porção norte da Bacia de Santos (Figura 1).

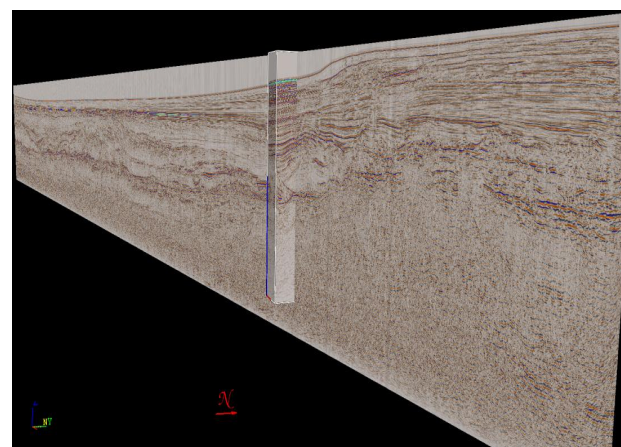
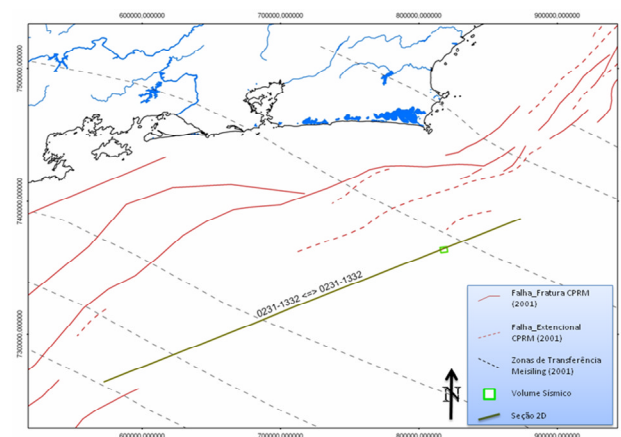


Figura 1: Mapa de localização dos dados mostrando as algumas estruturas regionais conhecidas, e no detalhe os dados sísmicos 2D e 3D.

Geologia Estrutural da Bacia de Santos

Em termos de arcabouço estrutural, as falhas normais são caracterizadas predominantemente pela direção NE-SW herdadas de estruturas do embasamento. Sendo estas estruturas as mais abundantes e importantes feições caracterizadas pelos métodos potenciais e interpretações das seções sísmicas (Chang et al. 1992; Mohriak, 2004). Em geral apresentam-se escalonadas com planos de falhas mergulhando em direção ao oceano (homotéticas) e ao continente (antitéticas), ocorrendo alternância de blocos altos (*horsts*) e baixos (*grabens*). Essas estruturas são as responsáveis pela formação da bacia. A Linha de Charneira ocorrendo paralelamente à linha de costa, e as direções estruturais das rochas pré-cambrianas expostas no continente emerso constituem uma feição estrutural marcante na Bacia de Santos separando a cunha sedimentar delgada em direção ao continente de uma seção sedimentar espessa em direção ao oceano (Figura 2).

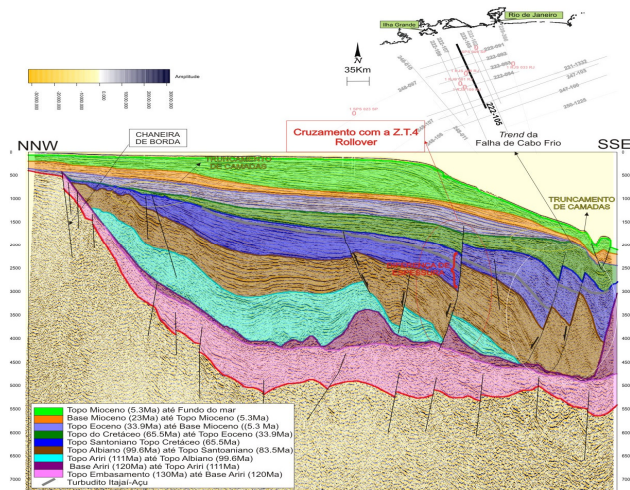


Figura 2: Seção *dip* 2D mostrando a interpretação estratigráfica e estrutural. Notar linha de charneira, presença de *rollover* e falha sin-deposicional.

Outras feições estruturais encontradas na Bacia de Santos são aquelas relacionadas à tectônica de sal (halocinese), responsáveis pela grande deformação da bacia. A halocinese é caracterizada por vários domínios tectônicos, sendo os compartimentos extensionais com almofadas de sal, o compartimento com diápiros de sal e a região de muralhas de sal com grandes empurrões e dobramentos (Demercian, 1996; Mohriak, 2004). Em porções mais distais da bacia essas deformações geram mini-bacias e *grabens* de evacuação de sal (Zalán, 2001).

As zonas de transferência também constituem uma feição presente na bacia apresentam direções NW e NNW e se formaram a partir de movimentos distensivos durante a fase *rift* da abertura do Atlântico Sul e algumas das quais foram reativadas durante a formação de fraturas oceânicas (Macedo, 1989; Meisling et al., 2001; Mohriak, 2004). As zonas de transferência de Ilha Grande, Merluza e Tubarão (Demercian & Szatmari,

1999) tiveram importância no controle da tectônica do sal e na divisão em província na bacia.

Metodologia

Utilizando seção sísmica 2D e volume sísmico pós empilhado de 20 km² (porção norte da Bacia de Santos) foram gerados multi-atributos sísmicos de coerência (*semblance*), volume de *dip* e azimute, técnicas de processamento de imagem volumétricas, volumes para filtragem de ruídos (SONC – *Structural Oriented Noise Cancellation Seblance*), atributos para a detecção de falhas (Santos et al, 2005) e foram interpretados nove horizontes que compreendem intervalos estratigráficos desde o Embasamento até o Mesomioceno. Para isso foram utilizadas ferramentas para interpretação de horizontes com modo manual, assistido e ou automático, baseado na forma do traço do dado sísmico. Na seção sísmica 2D, também foram interpretadas feições que interrompem os refletores e classificadas segundo direção de mergulho sendo que para estruturas oriundas do embasamento em que haviam indícios de crescimento de seção a técnica de retro-deformação mostrou-se útil (Figura 3).

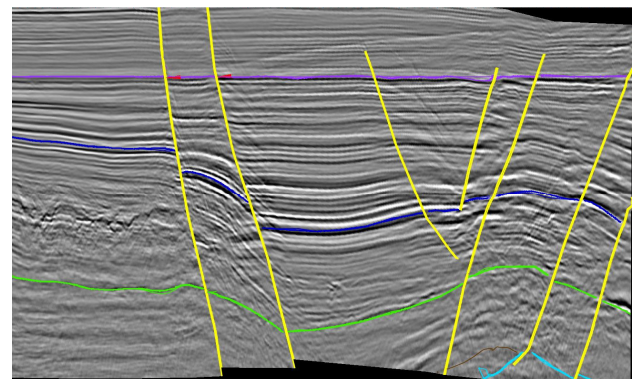
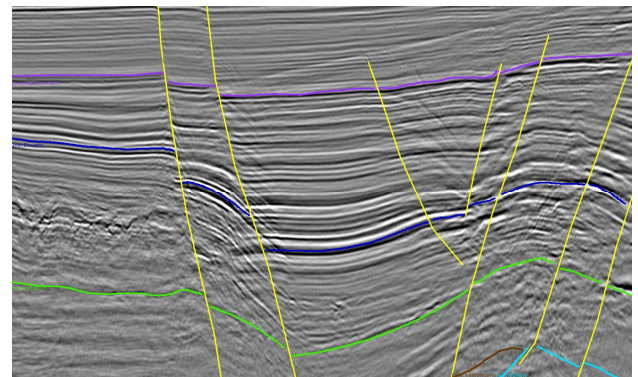


Figura 3: A cima, seção 2D mostrando Mesomioceno (roxo), Topo do Eoceno (azul) e o Topo do Cretáceo (verde). Nota-se uma diferença de espessura no pacote referente a deposição do Eoceno ao Mesomioceno. Utilizando uma técnica de validação de seção e posterior horizontalização do Mesomioceno (figura abaixo), fica explícita essa situação.

Análise de dados e Interpretação

Na Figura 3, podemos notar a presença de falha de crescimento. Neste caso duas possibilidades podem ser consideradas. A primeira seria de uma estrutura sin-deposicional com crescimento de seção originada de uma reativação de falhas do embasamento e a outra seria de uma falha transcorrente trazendo um intervalo sedimentar mais espesso para a seção apresentada. Por se tratar de uma área de intersecção com as Zonas de Transferência (Meisling et al 2001), torna-se bem possível que tais estruturas ocorram.

Com o volume sísmico 3D aplicamos o cálculo do *Dip* e Azimute que em geral pode ser utilizado em estudos exploratórios ou de reservatórios para o reconhecimento das estruturas, antes mesmo de efetuar o mapeamento das superfícies propriamente ditas. Com esse volume foi possível notar o descolamento do sal em vermelho (Topo da Formação Ariri), representando uma mudança brusca de azimute (Figura 4).

Na Figura 5 podemos visualizar também feições estratigráficas (direção SE) através do volume do cálculo de direções (FaultTrends) obtido por meio de técnicas de processamento de imagens volumétricas, mostrando que esses volumes de detecção de falhas podem ser utilizados também para visualizar paleo-canais.

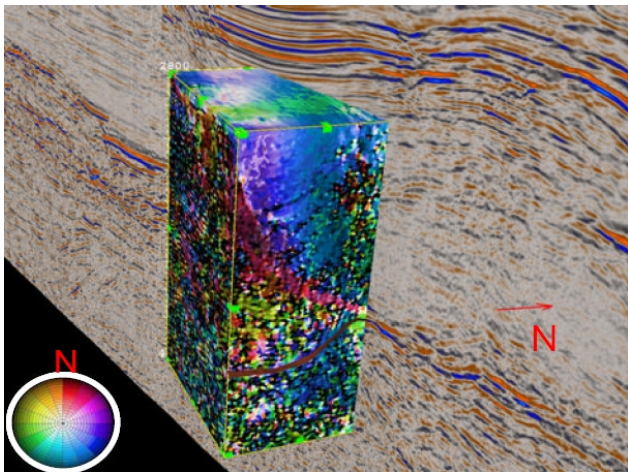


Figura 4: Seção sísmica 2D interceptando volume de Dip e Azimute combinados. Neste caso as cores representam o azimute e a intensidade do branco ao preto misturado às cores, o mergulho, do menor para o maior. O horizonte interpretado refere-se ao Topo do Rift, que na intersecção com a seção sísmica 2D revela um alto estrutural.

Foram interpolados os nove horizontes compreendendo o Topo do Embasamento, Topo da Fase Rift, superfície de descolamento do Sal, Topo do Albiano, Topo do Santoniano, Topo do Campaniano, Topo do Cretáceo, Topo do Eoceno, e Mesomioceno (Figura 6).

Após a interpolação dos horizontes e falhas foi gerado o arcabouço estrutural selado através de tecnologia computacional capaz de calcular de maneira automática ou semi-automática a intersecção entre esses objetos e

definir a topologia dos polígonos de falhas em 3D bem como o cálculo dos rejeitos das falhas. Os resultados podem ser visualizados na Figura 7.

Esses polígonos de falha constituem uma maneira quantitativa do cálculo dos rejeitos e podem ser utilizados na geração de grades de contorno contribuindo para melhores estimativas de volume de rocha. Um posterior trabalho deve ser realizado para a construção do modelo de velocidade e posterior conversão de tempo para profundidade.

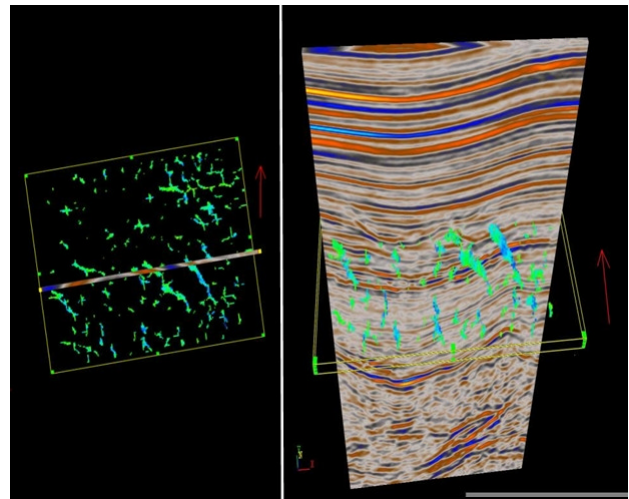


Figura 5: Volume em opacidade de FaultTrends (tons verde e azul), através do qual feições estratigráficas de paleo-canais com direção NW-SE, podem ser observadas em mapa (lado esquerdo) e em seção (lado direito).

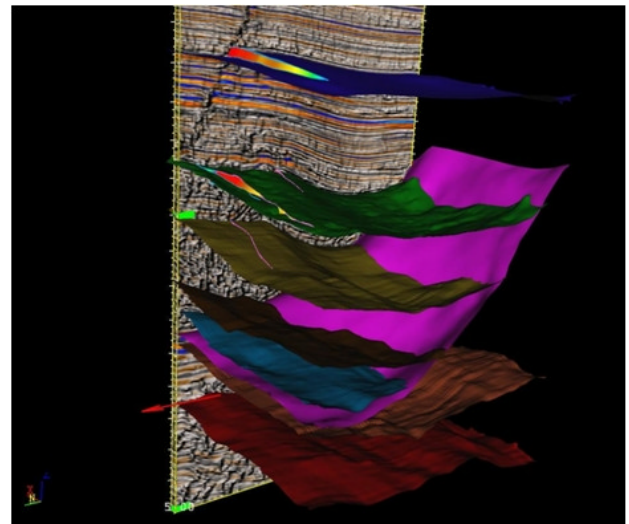


Figura 6: – Resultado final da interpretação volumétrica de horizontes seguindo a ordem cronológica: Topo do Embasamento, Topo da Fase Rift, superfície de descolamento do Sal, Topo do Albiano, Topo do Santoniano, Topo do Campaniano, Topo do Cretáceo, Topo do Eoceno, e Mesomioceno.

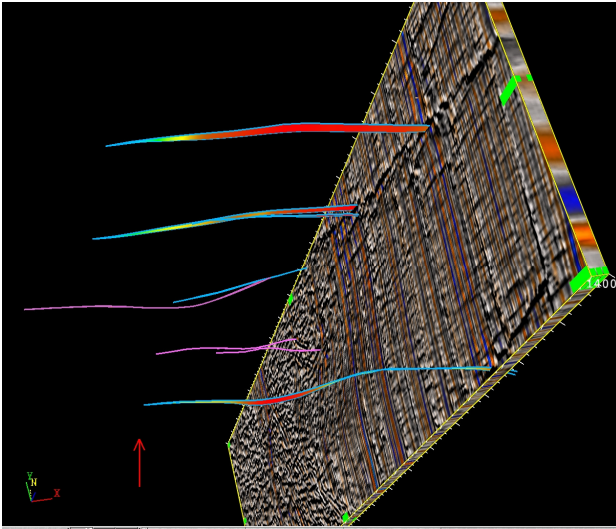


Figura 7: Co-visualização de volume sísmico de amplitude com coerência (*structural cube*), mostrando seção N-S interceptando Polígonos de Falhas gerados automaticamente e os respectivos rejeitos locais em 3D.

Conclusões

Foram interpretados nove horizontes representando o Topo do Embasamento, Topo da Fase Rift, superfície de descolamento do Sal, Topo do Albiano, Topo do Santoniano, Topo do Campaniano, Topo do Cretáceo, Topo do Eoceno, e Mesomioceno.

Foi identificada situação de crescimento de seção onde ocorreu reativação de estruturas oriundas do embasamento normalmente observadas e causadas pelo soerguimento da Serra do Mar e da Mantiqueira, favorecendo o acúmulo de sedimentos durante o Neocretáceo. O mesmo foi verificado através de técnicas de restauração de seção.

Feições estratigráficas (direção SE) através do volume do cálculo de direções (FaultTrends) também foram visualizadas. Neste sentido quando na presença do dado sísmico 3D o cálculo e visualização volumétrica de multiatributos mostrou-se muito importante para o reconhecimento das estruturas antes mesmo de efetuar o mapeamento das superfícies propriamente ditas.

Agradecimentos

Ao Programa de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás – PRH05-ANP/MCT através de bolsa de estudo e laboratório. Conta com o apoio da Landmark Graphics que cederam diversos módulos do programa Landmark e Geographix e com a ANP/BDEP que forneceram os dados para finalidade acadêmicas através da política de gratuidade para universidade. Também gostariam de realizar uma homenagem ao Prof. Dr. Hans Dirk Hebert (*in memoriam*).

Referências

Almeida, F.F.M., Carneiro, C.D.R., 1998, A origem e evolução da Serra do Mar: Revista Brasileira de Geociências, 28, 135-150.

Chang, H.K., Kowsmann, R.O., Figueiredo, A.M.F., Bender, A.A., 1992, Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview: Tectonophysics, 213, 97-138.

Demercian, L.S.; Szatmari, P., 1999, Thin-skinned gravitational Transfer Zone in the Southern Part of Santos Basin: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Expanded Abstract, CD-ROM.

Macedo, J.M., 1987, Evolução estrutural da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes: Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal de Ouro Preto.

Macedo, J.M., 1989, Evolução Tectônica da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes: Revista Geociências da Petrobrás, 3, 159-173.

Meisling, K.E., Cobbold, P.R., Mount, V.S., 2001, Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil: AAPG Bulletin, 85, 1903-1024.

Mohriak, W.U. 2004, Recursos energéticos associados à ativação tectônica Mesozóico-Cenozóico da América do Sul, in V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito-Neves, eds, Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida: editora Beca, 293-318.

Santos R. A., Spínola M., Alves R. R. P., 2005, Aumentando o limite de visibilidade de dados sísmicos 3D em reservatórios de águas profundas com detalhes estruturais e estratigráficos: 9 Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 5-8 de Setembro, Salvador, Brazil

Zalán, P.V., 2001. Growth Folding in Gravitational Fold-and-Thrust Belts in the Deep Waters of the Equatorial Atlantic, Northeastern Brazil. AAPG Annual Convention Official Program Book and CD-ROM, Denver, June, p. A223.