



Posicionamento de eventos em processos de migração

Dário Guedes Miranda de Assunção, LaGAp/UFRN/PRH22-BR e Carlos César Nascimento da Silva, LaGAp/UFRN e Rodrigo Francis Revorêdo, LaGAp/UFRN/SBGf

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th 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 13th 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

The seismic reflection is currently the main geophysical method used in the research of hydrocarbon, which is based on the record of the transit time of seismic waves generated artificially. One of the main steps of this method is the seismic processing, that is to transform the raw data into a data with a reliable representation of existing subsurface geologic structures.

This work is part of an ongoing research project on analysis of the processing flow of seismic reflection data in ProMax environment, and presents only the results of the migration step (time post and pre-stacking) of seismic data that has among others, the objective of to locate the exact points responsible for the generation of reflections and/or diffractions. That is, find the correct locate position of seismic events. The effectiveness of each migration method discussed in this work occurred from the comparative analysis of the generated images.

Were used two real 2-D seismic data acquired near to the coast of Rio de Janeiro State (Brazil), by the Institute of Geophysics at the University of Texas (Austin) in 1979. Both data show complex geological and structural features. So, the Kirchhoff pre-stack time migration showed considerable advantages compared to Kirchhoff post-stack time migration, thus constituting an important process in the positioning of geological events and to identify hydrocarbon reservoirs.

Introdução

Este trabalho é parte de um Projeto de Pesquisa inserido no Programa de Recursos Humanos da PETROBRAS para o setor de Petróleo e Gás (PRH-BR) e no Programa de Formação em Geologia, Geofísica e Informática para o Setor de Petróleo e Gás na UFRN (PRH22), responsáveis pela formação de pesquisadores nas referidas áreas de pesquisa na UFRN.

Para compor este trabalho, foram utilizados dados sísmicos de reflexão 2-D adquiridos próximo à costa do Estado do Rio de Janeiro (Brasil) pelo Instituto de Geofísica da Universidade do Texas (Austin) em 1979 (Fig. 1). Este projeto realizou uma série de perfis de reflexão sísmica com objetivo de coletar dados de apoio

à fase internacional do *Ocean Drilling (IPOD)* no Atlântico sul e foi chefiado pelos cientistas: Thomas H. Shipley e John W. Ladd.

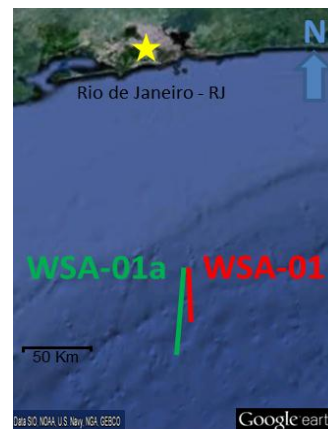


Fig. 1. Localização de aquisição dos dados WSA-01 e WSA-01a.

Segundo Robinson e Treitel [Robinson, E. A. & Treitel, S., 1980], o método sísmico de reflexão está dividido em três principais etapas. São elas: aquisição, processamento e interpretação. A etapa de processamento insere-se neste contexto como uma fase de grande importância, por ser capaz de transformar o dado bruto em um dado com características que atendam à necessidade de quem o está interpretando. Necessita-se, por exemplo, de um dado com uma razão sinal/ruído satisfatória e que seja capaz de posicionar de forma real os eventos geológicos em subsuperfície (Almeida, 2011). Neste contexto, o processo de migração sísmica do tipo Kirchhoff em tempo, utilizado neste trabalho, e que tem como base a equação da onda, é responsável por este posicionamento (Gray *et al.*, 2001).

Fazendo uso de licenças acadêmicas do software ProMax/SeisSpace, da Landmark/Halliburton Software & Serviços, versão 5000.0.3.0, cedidas através de Contrato tipo Grant entre a referida empresa e a UFRN, foram desenvolvidos trabalhos relacionados à aplicação de um fluxo de processamento que apresenta os principais processos aplicados aos dados sísmicos reais 2-D, enfatizando os dois tipos de migração utilizados (Fig. 02). Com base no referido fluxo, quando utilizada a migração pós-estaqueamento, o dado, após análise e aplicação do filtro F-K, segue o fluxo com correção de sobretempo normal (ou NMO), correção do efeito do sobretempo normal dos eventos mergulhantes (ou DMO), *MUTE*, estaqueamento e migração pós-estaqueamento. Para o caso de utilizar a migração pré-estaqueamento em tempo (PSTM), o dado, após análise e aplicação do filtro F-K,

segue o fluxo com PSTM, MUTE e estaqueamento. Para que os efeitos de comparação fossem os mais fiéis possíveis, ambos os dados (migrados pré e pós-estaqueamento) foram submetidos aos mesmos filtros de frequência temporal e ganhos.

A parametrização dos processos de migração empregados foi realizada de maneira exaustiva nos dois dados utilizados, de forma a se obter imagens sísmicas que apresentem eventos geológicos nas suas reais posições.



Fig. 2. Fluxos de processamento evidenciando os dois tipos de migração (A e B) aplicados aos dois dados sísmicos reais 2-D, citados anteriormente.

Métodos

O método utilizado consistiu em uma análise comparativa de processos de migração Kirchhoff em tempo pós e pré-estaqueamento, aplicados a diferentes dados sísmicos de reflexão 2-D, através de uma análise das imagens sísmicas geradas após o referido processo.

Os dados utilizados (WSA-01 e WSA-01a) apresentam as seguintes parametrizações de aquisição (Tab. 01):

	WSA-01	WSA-01a
Família de tiros	2654	3994
Intervalo de tiros (m)	50	50
Numero de receptores	24	24
Distância entre os receptores (m)	50	50
Offset mínimo (m)	316	316
Offset máximo (m)	1466	1466

Tab. 01. Parâmetros de aquisição dos dados WSA-01 e WSA-01a.

Os dados brutos citados anteriormente possuem uma baixa razão sinal/ruído, provavelmente pelo fato de apresentarem um número consideravelmente baixo de canais (comparados aos dados sísmicos atuais), que compromete a qualidade das imagens sísmicas geradas

após cada etapa de processamento, inclusive a de migração.

Investigaram-se neste trabalho alguns algoritmos de migração sísmica em tempo (migração pós ou pré-estaqueamento tipo Kirchhoff (Schneider, 1978; Bleistein, 1987; Schleicher *et al.*, 1993; Tygel, *et al.*, 1996)) que apresentam os melhores resultados com relação à capacidade de localizar os pontos responsáveis pelas reflexões, colapsar as difrações e reposicionar corretamente os eventos. Isto foi feito a partir de análises comparativas de imagens sísmicas dos dados migrados com foco nas áreas que apresentavam eventos geológicos marcantes (grabens, domos de sal, dobras, dentre outros) e que, por ventura, podem estar associados ou contemplam estruturas capazes de compor um reservatório de hidrocarboneto.

Em geral, os métodos de Kirchhoff são muito utilizados atualmente, pelo fato de apresentarem bons resultados com um custo computacional exequível. Porém, sua ineficiência com relação a dados que apresentam variações laterais acentuadas de velocidade, limita a sua utilização.

Com relação ao tempo de processamento, esse é menor na migração pós-estaqueamento Kirchhoff em tempo, pelo fato do algoritmo de migração ser aplicado no dado previamente empilhado (para os dados trabalhados, da ordem de 8 vezes menor do que a migração pré-estaqueamento Kirchhoff em tempo). Quando na migração pré-estaqueamento Kirchhoff em tempo, isso é feito em painéis de offset comum e, em seguida, são empilhados. Desta forma, apresentam custo computacional relativo mais elevado. Em dados reais de alta multiplicidade, a migração pré-estaqueamento pode levar horas ou mesmo dias para ser concluída, constituindo um fator crucial na escolha do tipo de migração a ser usado.

Um parâmetro fundamental durante o processo de migração é a escolha correta do campo de velocidades. Neste caso, foi feita análise do tipo painel CVS (*Constant Velocity Stack*) que permitiu interpretar o melhor modelo de velocidade em ambos os dados utilizados. Este tipo de análise consiste em corrigir os traços de cada família CMP, com uma velocidade constante para todos os tempos, e em seguida somá-los. Repetindo-se a operação com diferentes velocidades é possível identificar quais são os melhores valores para corrigir uma determinada família de traços em distintos tempos de trânsito. Pode-se observar na Figura 3 o exemplo do modelo de velocidade adquirido a partir desta técnica para o dado WSA-01, evidenciando em vermelho a coerência com possíveis estruturas.

Os processos de migração

Foram aplicadas neste trabalho as migrações pré-estaqueamento e pós-estaqueamento Kirchhoff em tempo.

A migração Kirchhoff 2D, diz que: dado um ponto “M” em subsuperfície, de coordenadas (X,Z) e um parâmetro de

configuração dos dados de entrada (ξ), seu cálculo pode ser expresso pela integral (Schleicher, 1993):

$$V(M) = \int_{\Omega} W(\xi, M) D[U(\xi, t = \tau_D(\xi, M))] d\xi \quad (1)$$

onde $V(M)$ é a amplitude migrada para um ponto M da seção de saída; Ω é o domínio de integração na superfície; $W(\xi, M)$ é o fator de ponderação e D o operador de correção de mudança de fase decorrente do processo de migração. Os traços da seção de entrada $U(\xi, t)$ equivalentes ao dado registrado no receptor, são descritos pelo parâmetro ξ (Ferreira, 2009).

A migração pós-estaqueamento Kirchhoff em tempo é realizada nas seções de afastamento nulo. Desta forma (Ferreira, 2009):

$$\xi = x_s = x_r \quad (2)$$

onde x_s e x_r são as coordenadas das fontes e receptores. Então, considerando a configuração de afastamento nulo, a integral de Kirchhoff torna-se (Schleicher, 1993; Ferreira, 2009):

$$V(M) = \int W(x_r, M) D^{\frac{1}{2}} [U(x_r, \tau_D(x_r, M))] dx_r \quad (3)$$

onde a função peso $W(x_r, M)$ é aplicada nas amplitudes que serão somadas ao longo do operador τ_D (curva de difração). Para a preservação de amplitude, a função peso W é (Bleistein, 1987):

$$W \approx \frac{z}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

onde z é a profundidade do ponto M e t corresponde ao tempo de reflexão da amostra do traço de entrada.

A migração pré-estaqueamento Kirchhoff em tempo é realizada migrando-se cada offset comum individualmente e a imagem final é obtida pelo empilhamento de todos os offsets migrados. Esse processo pode ser considerado como um desenvolvimento da técnica pós-empilhamento considerando o afastamento não nulo. Então, cada traço de uma seção offset comum possui coordenada (x_m). Desta forma (Ferreira, 2009):

$$\xi = x_m, \quad (5) \quad h = \text{constante}, \quad (6)$$

$$S(\xi) = x_m - h, \quad (7) \quad R(\xi) = x_m + h \quad (8)$$

Então, a integral de Kirchhoff torna-se (Schleicher, 1993; Ferreira, 2009):

$$V(M) = \int W(x_m, M) D^{\frac{1}{2}} [U(x_m, t = \tau_D(x_m, M))] dx_m \quad (9)$$

Considerando-se meios homogêneos e com velocidade constante, a função peso pode ser expressa por (Dellinger *et al.*, 2000):

$$W = \left(8 \frac{\sqrt{2}}{v^2 \pi} \right) (z) \left(\frac{1}{\sqrt{t}} \sqrt{1 - \frac{(2h)^2}{(vt)^2}} \right) \quad (10)$$

onde v é a velocidade constante do meio, z é a profundidade do ponto M e t é o tempo de reflexão da amostra do traço de entrada que é somado para obter a amplitude neste ponto.

Os tempos de difração podem ser calculados por (Schleicher, 1993; Ferreira, 2009):

$$\tau_D(x_m, M) = \frac{1}{v} \sqrt{(x_0 - x_m + h)^2 + z^2} + \sqrt{(x_0 - x_m - h)^2 + z^2} \quad (11)$$

onde v é a velocidade e x_0 é a projeção horizontal das coordenadas do ponto imagem M .

Desta forma, a curva de tempos de difração para o ponto M em uma seção offset comum, é traçada variando-se as coordenadas x_m (Ferreira, 2009).

Resultados obtidos

De acordo com os testes de processamento realizados, percebeu-se que é imprescindível, preliminarmente, a separação do sinal dos eventos que representam ruído. Dentre os ruídos observados, os eventos de reflexão múltipla correlacionados ao substrato oceânico podem mascarar eventos geológicos de interesse. Conforme as técnicas utilizadas, a análise do dado no domínio FK não resultou em progresso satisfatório em ambos os dados. Possivelmente, isto se deu pela baixa razão sinal/ruído dos dados, provocada sobretudo, pelo pequeno número de canais. Todavia, em virtude das profundidades do substrato oceânico e dos eventos de interesse, não houve superposição entre este ruído e os eventos geológicos.

Através dos fluxos de processamento adotados neste trabalho (ver fig. 2.), submeteu-se cada um dos dois dados aos processos de migração pré e pós-empilhamento, obtendo-se com isso quatro imagens sísmicas distintas (Figura 4, 5, 6 e 7), possibilitando desta forma realizar a análise comparativa acerca do posicionamento dos eventos geológicos em subsuperfície, para cada caso.

Comparando-se as figuras 4 e 5 (migração pós e pré-estaqueamento Kirchhoff em tempo para o dado WSA-01), pode-se observar: em laranja alguns refletores sub-horizontais; em azul, refletores sub-verticais; em verde, refletores não colapsados (é possível perceber que na migração pré-estaqueamento, figura 5, esses refletores foram colapsados); exemplos de domos salinos identificados em vermelho na figura 5. Comparando-se as figuras 6 e 7 (migração pós e pré-estaqueamento Kirchhoff em tempo para o dado WSA-01a), podem ser observados: em laranja alguns refletores sub-horizontais; em azul, refletores sub-verticais; exemplo de graben

identificado em amarelo na figura 7 (migração pré-estaqueamento).

Percebe-se que a migração pré-estaqueamento Kirchhoff em tempo, por fazer uso da teoria do raio de ordem zero (utilizada em meios com variações suaves), não migra de forma adequada dados onde a variação lateral de velocidade é muito acentuada. No entanto, comparativamente, apresenta um resultado superior à migração pós-estaqueamento Kirchhoff em tempo com relação à qualidade das imagens sísmicas obtidas e à capacidade de representar a real posição dos eventos geológicos em subsuperfície. No entanto, o tempo de processamento gasto é da ordem de 8 vezes maior que o processo de migração pós-estaqueamento.

Considerações

A análise de velocidade para migração, função preponderante para este processo, auxiliado pela técnica CVS (*Constant Velocity Stack*), teve uma grande contribuição com relação à melhoria do campo de velocidades para os dados WSA-01 e WSA-01a.

A análise comparativa de imagens sísmicas dos dados migrados foi realizada com foco nas áreas que apresentavam eventos sísmicos facilmente identificados e que poderiam estar relacionados à grabens, domos de sal, dobras, dentre outras. Essa comparação possibilitou definir que a migração pré-estaqueamento apresentou melhores resultados quando comparada à migração pós-estaqueamento. Porém, em muitos casos, a migração pré-estaqueamento se torna dispendiosa devido ao seu tempo de processamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, ao Programa de Recursos Humanos para o Setor Petróleo e Gás na PETROBRÁS (PRH-BR) e ao Programa de Formação em Geologia, Geofísica e Informática para o Setor Petróleo e Gás na UFRN (PRH22), pelo apoio com a pesquisa. Agradecem também a Halliburton que através de sua desenvolvedora de software, a Landmark Software & Serviços, forneceu as licenças acadêmicas do ProMax/SeisSpace.

Agradecem ao Departamento de Geofísica da UFRN, pela infraestrutura a eles confiada. Agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Geofísica de Petróleo (INCT-GP). Agradecem ao Instituto de Geofísica da Universidade do Texas (Austin), e aos cientistas: Thomas H. Shipley e John W. Ladd pela disponibilidade dos dados sísmicos. Agradecem também ao Professor João Medeiros (UFRN/DFTE) pelo apoio computacional.

Referências

ALMEIDA, Y. B. M. M.; NASCIMENTO C. C. S.; MACIEL R. C., 2011. Comparative approach of attenuation methods for multiple events in seismic reflection data.

BLEISTEIN, N., 1987. On the imaging of reflectors in the Earth. *Geophysics Prospecting*, v.52, p.931-942.

DELLINGER, J. A.; GRAY, G. H; MURPHY G. E; ETGEN, J. T., 2000. Efficient 2.5-D true-amplitude migration. *Geophysics*, v. 65, n. 3, p. 943-950.

FERREIRA, D. G., 2009. Processamento Sísmico Convencional e CRS-2D de dados reais da Bacia do Amazonas / Danilo Galvão Ferreira; Orientador: German Garabito Callapino – 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) – Faculdade de Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

ROBINSON, E. A. & TREITEL, S., 1980. *Geophysics Signal Analysis*, Englewood Cliffs, Prentice-hal, N.J. 466p.

GRAY, S. H., 2001. Seismic migration problems and solutions. *Geophysics*, v. 66, p. 1622-1640.

SCHLEICHER, J.; TYGEL, M.; HUBRAL, P., 1993. 3D true – amplitude finite – offset migration, *Geophysics*, v.58, n.8, p.1112 – 1126.

SCHNEIDER, J.; W. A., 1978. Integral formulation for migration in two and three dimensions. *Geophysics*, v.43, p.49-76.

TYGEL, M.; SCHLEICHER, J.; HUBRAL, P., 1996. An unified approach to 3D seismic reflection imaging – Part II: Theory. *Geophysics*, v.61, p.759-775.

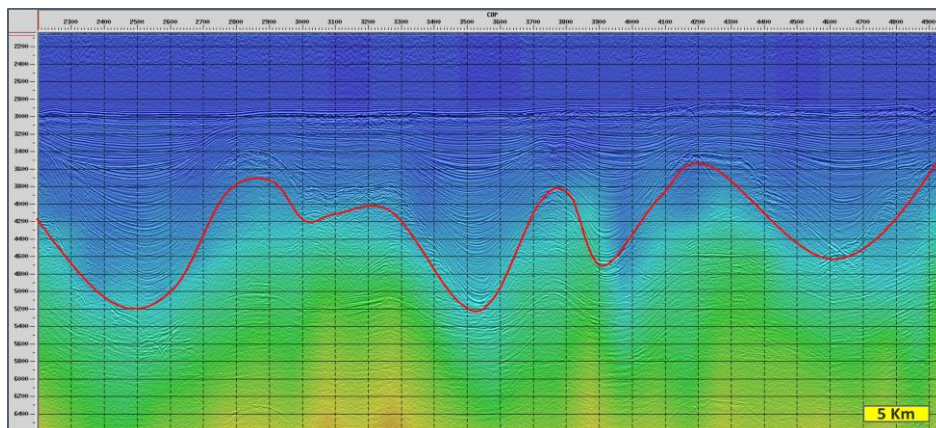


Fig. 3. Parte do dado WSA-01 com migração Pré-estaqueamento sobposta ao modelo de velocidade adquirido a partir de análise CVS (*Constant Velocity Stack*).

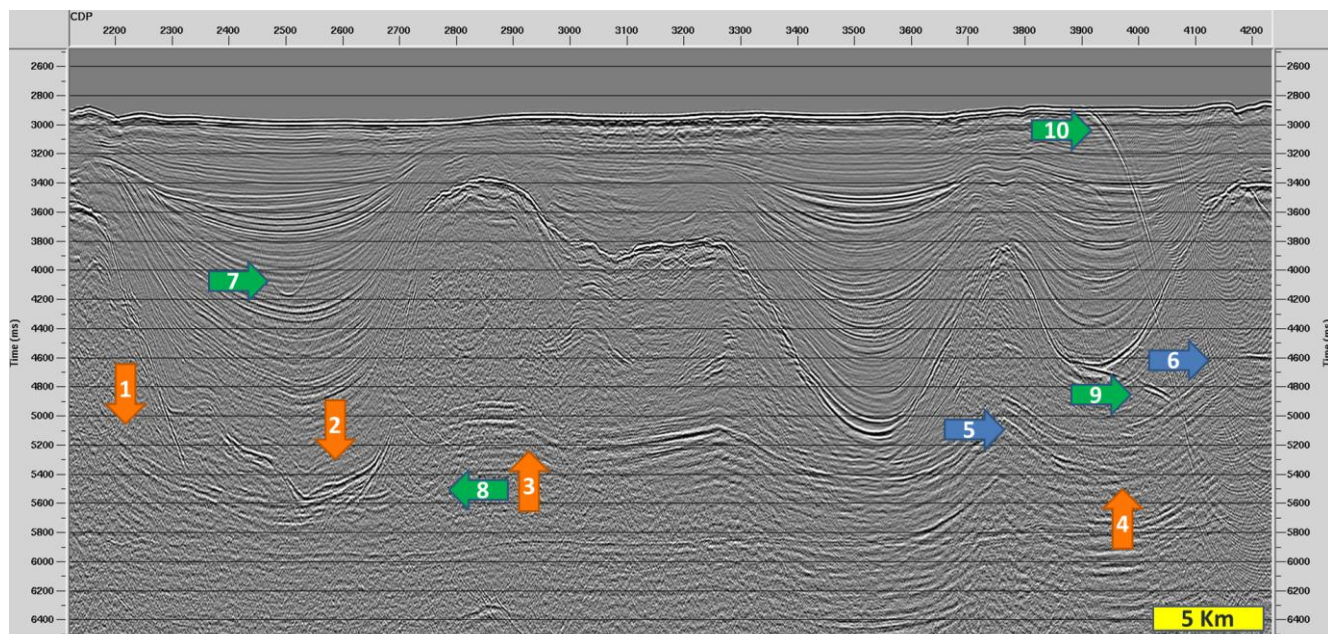


Fig. 4. Parte do dado WSA-01 após processo de migração pós-estaqueamento. Compare feições 1, 2, 3, 4, 5 e 6 com as feições 1, 2, 3, 4, 5 e 6 da Figura 5.

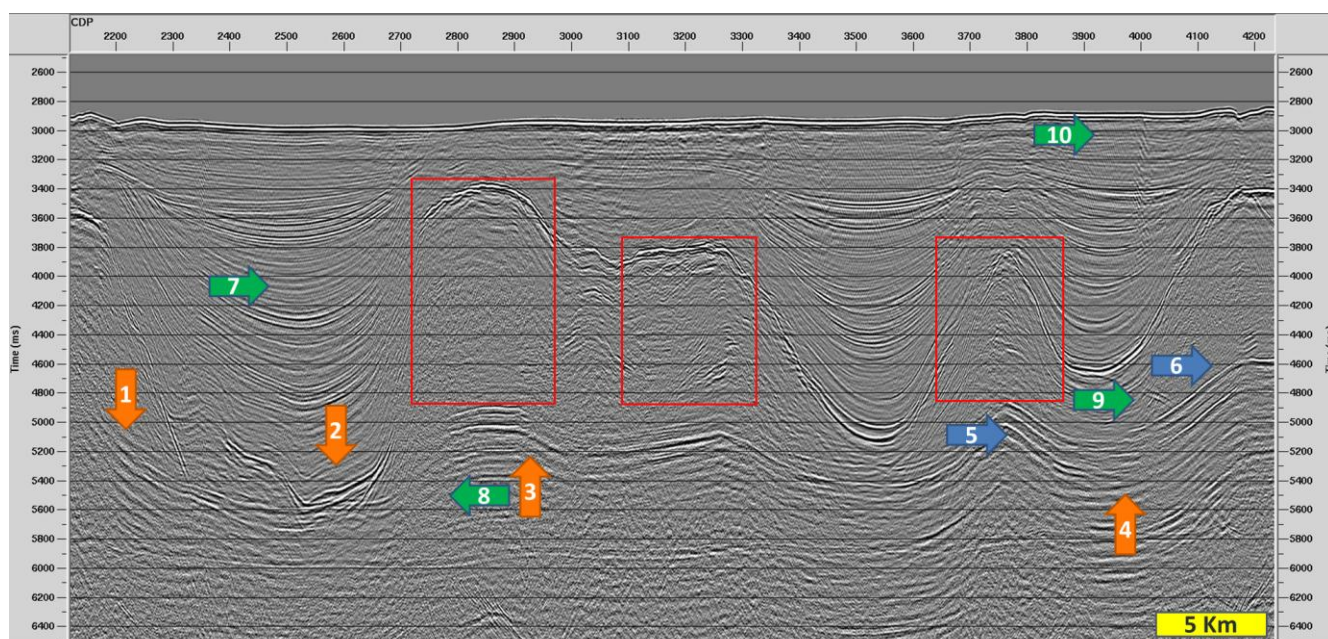


Fig. 5. Parte do dado WSA-01 após processo de migração pré-estaqueamento. Percebe-se nos quadros em vermelho o exemplo do imageamento de estruturas compatíveis com domos salinos.

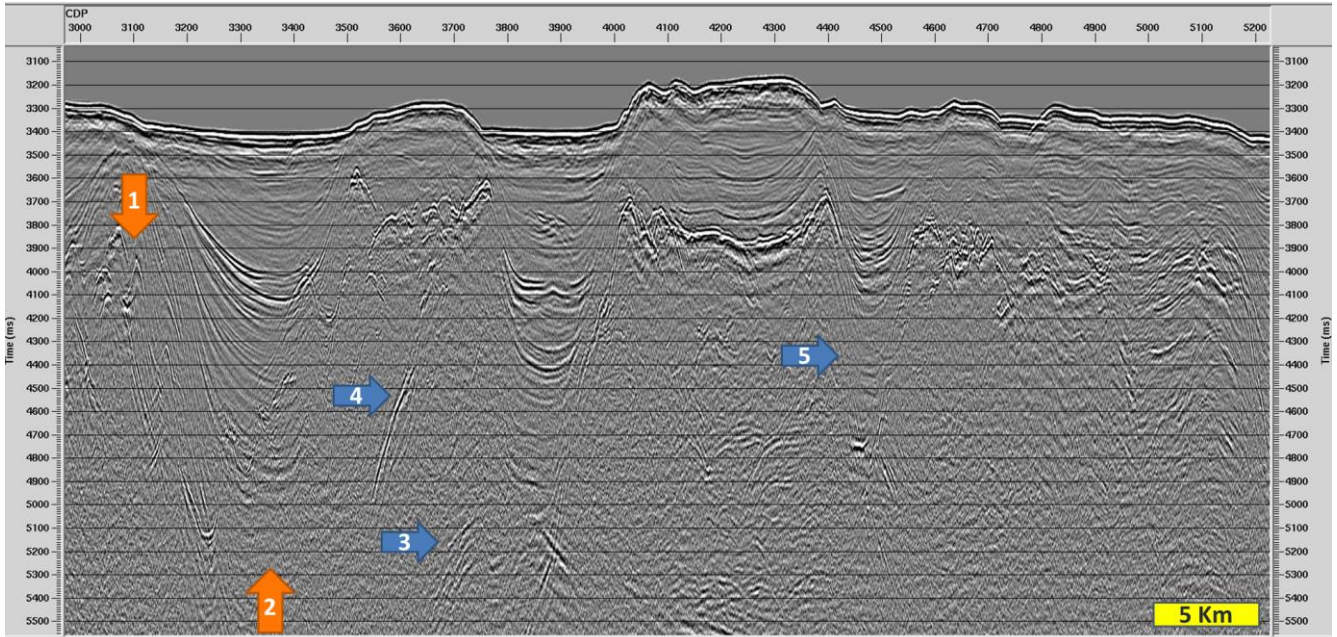


Fig. 6. Parte do dado WSA-01a após processo de migração pós-estaqueamento. Compare feições 1, 2, 3, 4 e 5 com as feições 1, 2, 3, 4 e 5 da Figura 7.

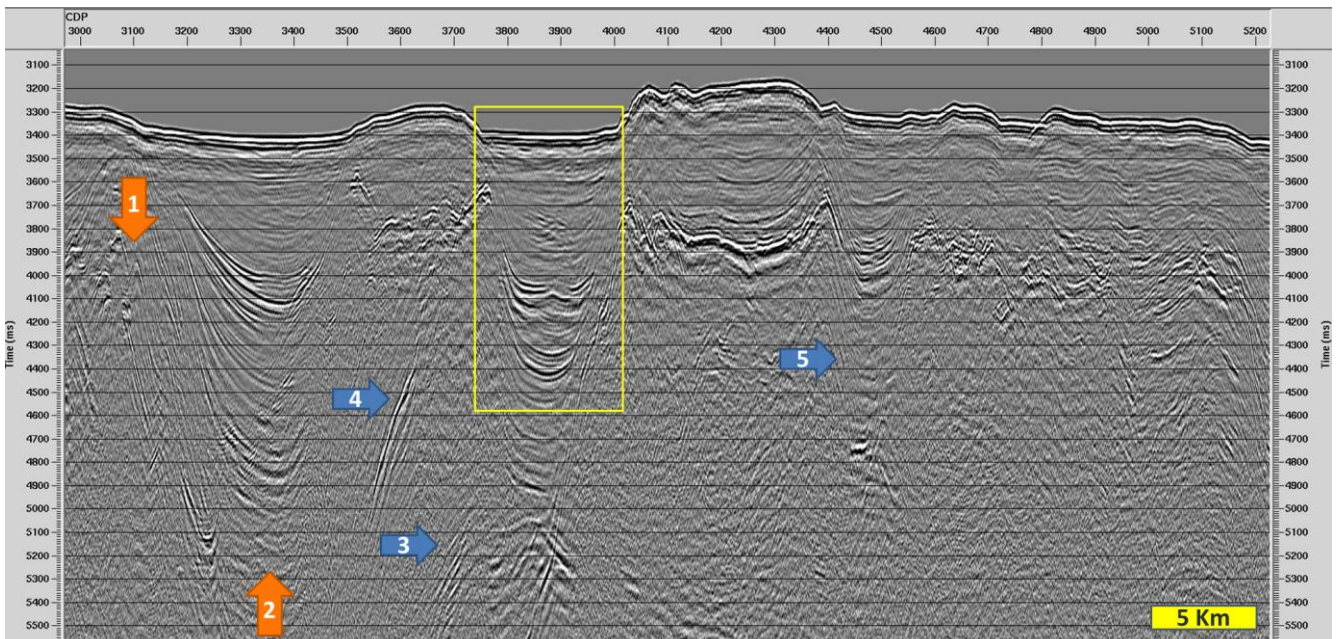


Fig. 7. Parte do dado WSA-01a após processo de migração pré-estaqueamento. Percebe-se no quadro em amarelo o exemplo do imageamento de feição compatível com Graben.