



Migração RTM orientada ao alvo: experimentos numéricos em modelos envolvendo tectônica salífera

João Batista Boechat¹, Paulo Eduardo Miranda Cunha¹, Djalma Manoel Soares Filho¹, André Bulcão¹ e Webe João Mansur²,
¹PETROBRAS, ²LAMEC/OPPE/UFRJ

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

In this work we illustrate the stability of our scheme for target oriented imaging of complex geological structures in relation to velocity field variations. The scheme is based on two powerful concepts: wavefront synthesis and reverse time migration (RTM). In order to guarantee an adequate seismic illumination around the targets, appropriate synthesis operators are obtained by upward wavefield extrapolations from a predefined source localized along a horizontal line located in the area of interest. Convolutions between those operators and shot records give rise to areal shot records, which are depth migrated using the imaging condition of maximum energy traveltimes. The final seismic section is obtained by summing up the migrated sections of all areal shots records. In order to illustrate the robustness of our method, we performed numerical experiments on three 2-D velocity models obtained from the SEG/EAGE 3-D SALT DOME Model. Except for some numerical artifacts, the reverse time migrations of just one areal shot record were able to achieve accurate depth images. The stability of the method concerning the smoothness of the velocity field was also investigated.

Introdução

Os métodos de migração pré-empilhamento em profundidade baseados na equação da onda são os mais indicados em casos de alta complexidade estrutural e estratigráfica, como os encontrados nas bacias submetidas à tectônica salífera. Interpretações confiáveis nestas regiões, principalmente em torno e abaixo de domos de sal, demandam algoritmos sofisticados, não limitados a variações suaves do campo de velocidades.

Todavia, a realização de projetos que envolvem esse tipo de processamento, muitas vezes, é inviabilizada pelos custos computacionais requeridos para obtenção da imagem final. Os algoritmos de migração em profundidade são divididos em duas grandes fases: (1) a determinação do campo de velocidades e (2) a extrapolação do campo de onda registrado em superfície com a imposição de uma condição de imagem.

Visando a otimização da segunda fase, propomos um método de migração reversa no tempo de família de múltiplas fontes (**areal shot**, Berkhout (1992); **phase-**

encoding, Romero *et al* (2000); **multi source**, Cunha e Palermo (2003); e **delayed shots**, Zhang *et al* (2003)).

Em nosso esquema “ondas planas” são sintetizadas no interior do modelo (não na superfície), através da aplicação de operadores de síntese apropriados, obtidos na extrapolação ascendente de um campo de onda pré-definido ao longo de um plano horizontal localizado nas vizinhanças da zona de interesse.

Testamos o método proposto em seções obtidas do modelo de velocidades SALT DOME publicado pela SEG/EAGE, visando estimar a robustez do método em modelos típicos de bacias submetidas à tectônica salífera.

Metodologia

Famílias de Múltiplas Fontes

Representando por $u_i(x, z=0, t)$ o sismograma (deconvolvido da assinatura da fonte) relativo ao ponto de tiro localizado em $x = x_i$, a família de múltiplas fontes $\tilde{u}(x, z=0, t)$ é dada pelo somatório de convoluções (Berkhout, 1992):

$$\tilde{u}(x, z=0, t) = \sum_{i=1}^{N_s} \gamma_i(t) * u_i(x, z=0, t),$$

onde o operador de síntese $\gamma_i(t)$ é dado pelo campo de onda registrado na superfície de observação em $x = x_i$, proveniente da propagação ascendente de um campo de onda gerado em sub-superfície, ao longo de um plano horizontal, $z = z_n$, localizado nas proximidades da área de interesse.

Atrasos lineares no tempo de excitação em dão origem a operadores de síntese relativos a “ondas planas” de diversas inclinações.

Migração RTM orientada ao alvo

A migração reversa no tempo de uma família de múltiplas fontes é realizada em duas etapas: (a) geração da matriz de tempo de trânsito a ser usada na condição de imagem e (b) a propagação reversa no tempo de $\tilde{u}(x, z=0, t)$ com a imposição da condição de imagem. Os elementos da matriz de tempo de trânsito usada na condição de imagem da migração, $TD(x, z)$, são dados pelos tempos de chegada de maior amplitude em cada ponto do modelo, relativo a propagação descendente do

campo gerado em superfície usando o operador de síntese como termo fonte.

A migração reversa no tempo é dada por:

$$m(x, z) = \tilde{u}(x, z, t = TD(x, z)).$$

Fluxograma

Em suma, a migração reversa no tempo de uma família de múltiplos tiros é realizada segundo os passos:

1. Input: famílias de tiro comum;
2. Deconvolução da assinatura da fonte;
3. Definição da profundidade do plano horizontal, onde o campo ascendente é originado;
4. Obtenção do operador de síntese, considerando atrasos lineares na geração do campo ascendente, ao longo do plano horizontal.
5. Determinação da família de múltiplas fontes, através da convolução entre as famílias de tiro comum e o operador de síntese;
6. Cálculo da matriz de tempo de trânsito, através da propagação descendente do operador de síntese;
7. Depropagação da família de múltiplas fontes e imposição da condição de imagem.

A migração de um número N de famílias de múltiplas fontes é dada pela soma das migrações de cada família, isto é,

$$M(x, z) = \sum_{\gamma}^N m(x, z; \gamma(t; z_n, t_0, p)),$$

$\gamma(t; z_n, t_0, p)$ é o operador de síntese relativo a $z = z_n$, com atrasos nos tempos de excitação dados por $t(i) = t_0 + p(i-1)\Delta x$.

Experimentos numéricos

Realizamos experimentos numéricos em três modelos bidimensionais extraídos do modelo 3-D publicado pela SEG/EAGE, visando estimar a adequação da migração pré-empilhamento em profundidade no imageamento abaixo de domos de sal, usando a tecnologia de família de múltiplas fontes. Para a modelagem dos dados, utilizamos a técnica das diferenças finitas com aproximações de quarta ordem nas derivadas espaciais e segunda ordem na derivada com relação ao tempo. Foram geradas 1558 famílias de tiro comum para cada um dos modelos, com 2,8 segundos de registro. Consideramos IPT=IE=5m e intervalo de amostragem temporal de 400 microssegundos, com o intuito de

eliminar dispersões numéricas e garantir a estabilidade. Em todos os modelos analisados, consideramos a migração de uma única família de fontes comum, correspondente a uma onda plano-horizontal sintetizada na profundidade de 1500 m.

A Figura 1 exibe o primeiro modelo testado, denominado SALT 1. As Figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, o operador de síntese e a família de múltiplas fontes gerada pelo mesmo; a Figura 4 apresenta o resultado da migração reversa no tempo desta família.

As Figuras 5a e 5b mostram, respectivamente, o modelo SALT 2 e o resultado encontrado na migração.

A Figura 6a apresenta o modelo SALT 3. A migração considerando o modelo exato é apresentada na Figura 6b. A Figuras 7a e 8a apresentam os modelos de velocidade empregados nas migrações exibidas nas Figuras 7b e 8b. As suavizações foram realizadas através de médias móveis nas direções vertical e horizontal, usando 19 e 37 amostras, respectivamente.

Discussão dos Resultados

Com exceção dos artefatos numéricos característicos da migração RTM usando a equação da onda sem aproximações assintóticas, os resultados encontrados com a migração de uma única família de múltiplas fontes são excelentes. O delineamento dos domos de sal e o rastreamento dos refletores localizados acima e abaixo dos domos podem ser realizados com precisão em quase todos os casos. Rigorosamente, no caso do modelo SALT 1, é que fica um tanto prejudicado o delineamento do topo do domo na região do “vale” localizado em torno de $x = 1000$ m, onde ocorre a maior variação lateral de velocidade de todos os modelos abordados (a velocidade varia de cerca de 1,5 Km/s a 4,45 Km/s). Mesmo assim, este resultado ainda poderia ser melhor se houvessemos adequadamente suavizado o campo de vagariedades na computação da matriz de trânsito.

Cabe ressaltar, que embora as famílias de múltiplas fontes tenham sido construídas visando principalmente a recuperação dos refletores localizados abaixo dos domos de sal, as seções migradas apresentam boa qualidade em todas as profundidades do modelo.

Com relação aos resultados encontrados com vários níveis de suavização do campo de velocidades, não são observadas alterações significativas no posicionamento dos refletores. Rigorosamente falando, contata-se uma pequena redução nas dimensões do domo com o aumento do nível de suavização. Contudo, acima do mesmo, os refletores ficaram até mais nítidos.

Conclusões

A migração reversa no tempo para famílias de múltiplas fontes mostrou-se capaz de recuperar satisfatoriamente três modelos típicos de bacias que envolvem tectônica salífera. O delineamento dos domos e o imageamento dos refletores em torno e abaixo dos mesmos são observados em todos os casos; os resultados

encontrados empregando-se modelos suavizados indicam uma boa estabilidade com relação à suavização do campo de velocidade. O uso de modelos de velocidades gerados por análises de foco, tomografia ou qualquer outra ferramenta de inversão será importante para estimar o desempenho do método com dados reais.

Agradecimentos

A PETROBRAS pelo apoio e estímulo para a realização desta pesquisa.

Referências

Berkhout, A. J., 1992. Areal shot-record technology, *J. Seis. Expl.* 1, n. 3, 251-264.

Cunha, P. E. M. e Palermo, L. A. C., 2003. A Multi-Source version of the reverse time migration (RTM), 8th international Congress of the Brazilian Geophysical Society.

Romero, L. A., Ghiglia, D.C., Ober, C.C. and Morton, S. A., 2000, Phase encoding of shot records in prestack migration. *Geophysics*, 65, 426-436

Zhang, Y., Sun, J., Notfors, C., Gray, S., Cherns, L. and Young, J., 2003. Delayed shot 3D Prestack depth migration, 65th EAGE Conference & Exhibition, Extended Abstracts.

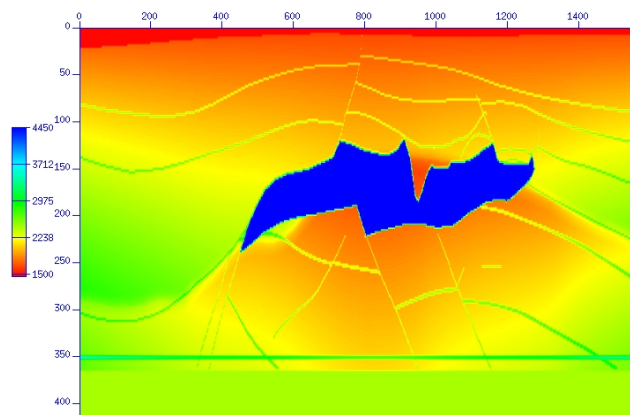


Figura 1. Modelo de velocidades SALT 1

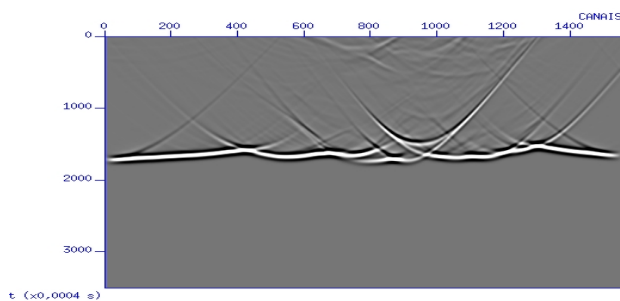


Figura 2. Operador de síntese convolvido usado na migração dos dados simulados com o modelo SALT 1.

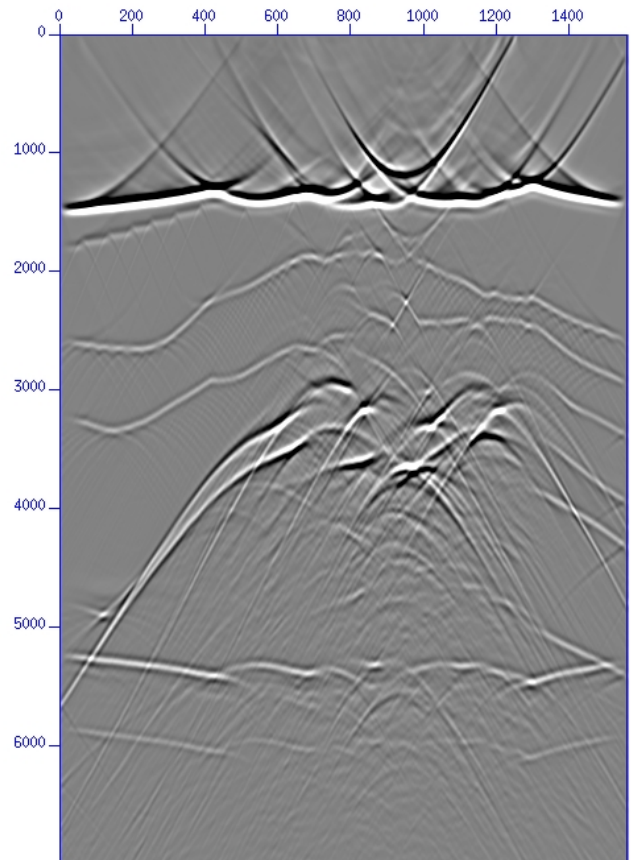


Figura 3. Família de múltiplas fontes obtida através da convolução entre operador de síntese mostrado na Figura 2 e as famílias de tiro comum.

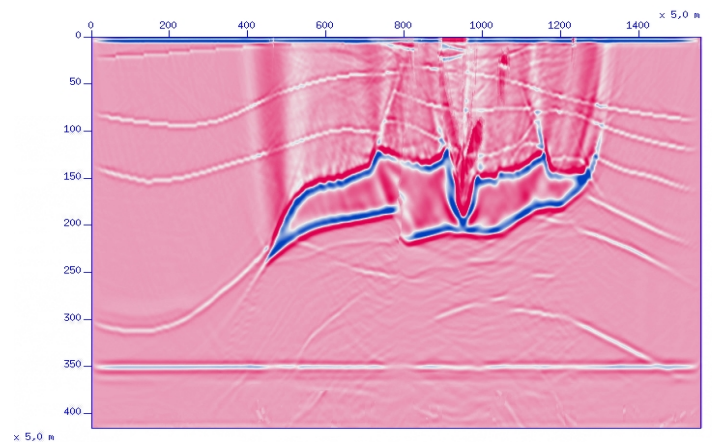


Figura 4. Resultado da migração da família de múltiplas fontes exposta na Figura 3.

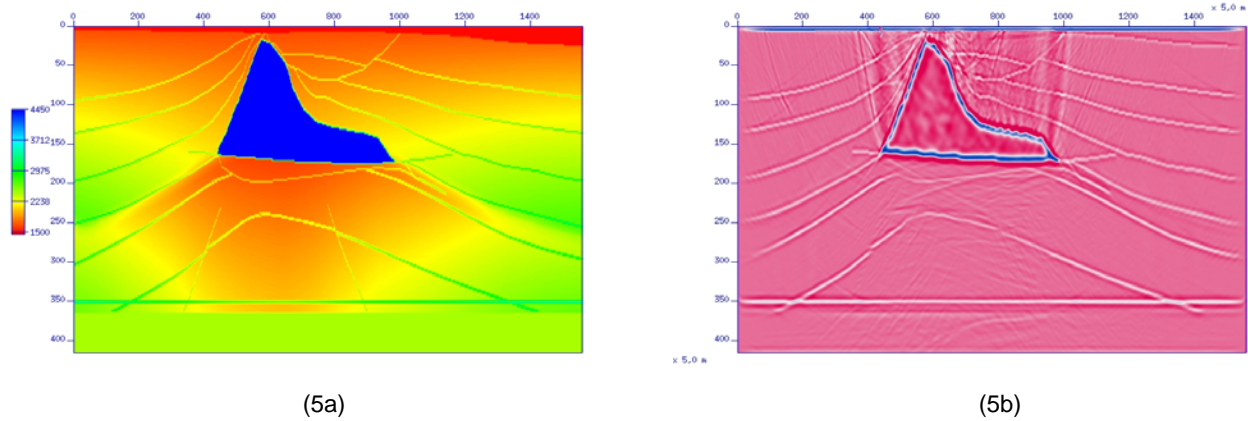


Figura 5. (a) Modelo de velocidades SALT 2. e (b) resultado da migração de uma família de múltiplas fontes, relativa a uma onda plano-horizantal sintetizada a 1500 m de profundidade

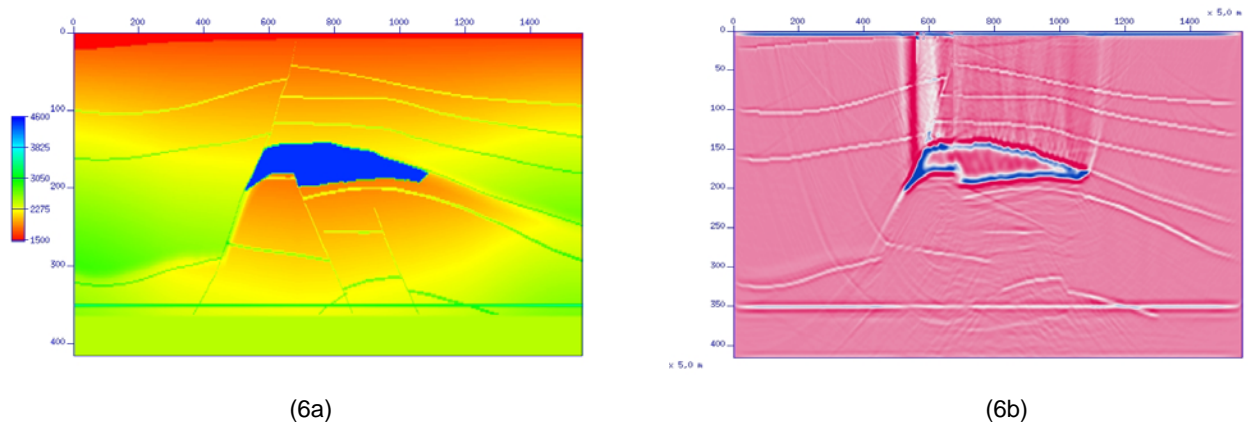


Figura 6. (a) Modelo de velocidades SALT 3 e (b) o resultado da migração de uma família de múltiplas fontes, relativa a uma onda plano-horizantal sintetizada a 1500 m de profundidade, sem suavização do campo de velocidade.

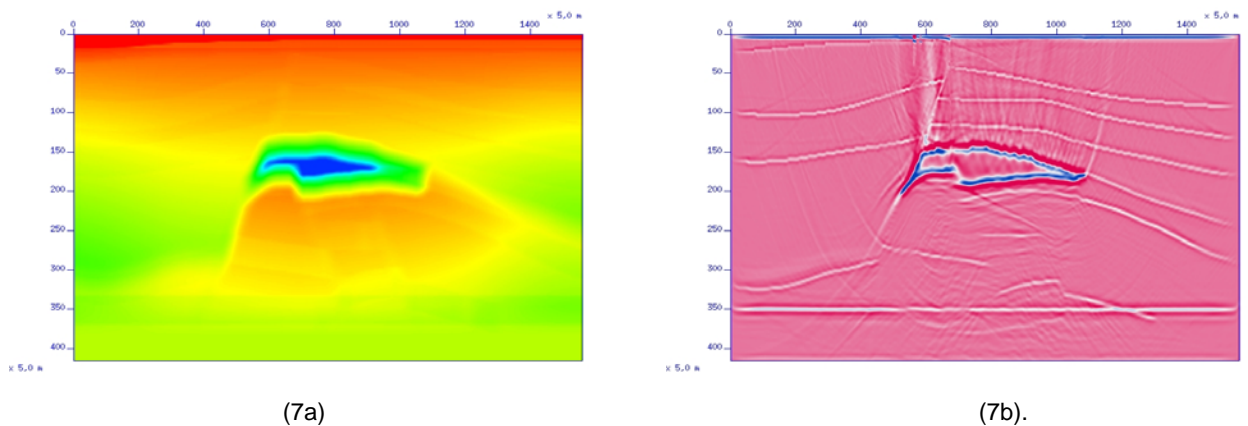


Figura 7. (a) Modelo de velocidade usado na migração (obtida por média móvel considerando 19 amostras nas direções vertical e horizontal) e (b) o resultado encontrado empregando a família de múltiplas fontes mencionada na legenda da Figura 6.

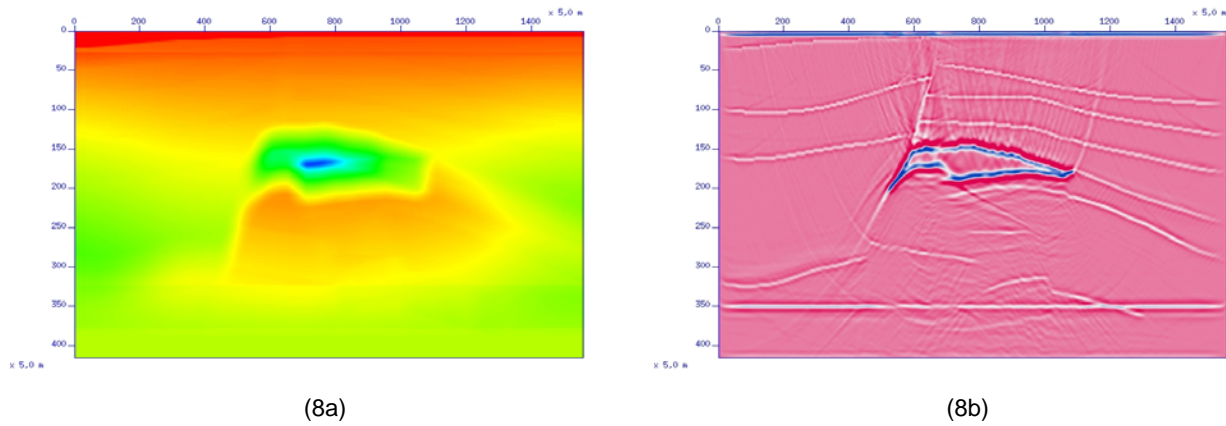


Figura 8. (a) Modelo de velocidade usado na migração (obtida por média móvel considerando 37 amostras nas direções vertical e horizontal) e (b) o resultado encontrado empregando a família de múltiplas fontes mencionada na legenda da Figura 6