

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

FONTE MULTIFOCAL E MIGRAÇÃO RTM APLICADOS A ESTRUTURAS GEOLÓGICAS COMPLEXAS

Josias Silva, Eldues Martins, Bruno Mendes, Jorge Costa, Luiz Landau¹, Djalma M. S. Filho²

¹ Grupo Interdisciplinar de Modelagem de Bacias/COPPE/UFRJ, Cid. Universitária, CT, BL-H (anexo), Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, jsilva@lab2m.coppe.ufrj.br

² CENPES/PETROBRAS, Cidade Universitária, Q-7, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, djalma@petrobras.com.br

Resumo – A migração RTM (“*reverse time migration*”) tem mostrado ser eficiente em diversas aplicações dentro da modelagem sísmica. Vários trabalhos têm sido publicados apresentando bons resultados no imageamento de estruturas complexas, principalmente em modelos com grandes variações laterais de velocidade. No entanto, o custo computacional para efetuar a migração dos diversos sismogramas registrados na superfície do levantamento ainda é alto. Neste trabalho foi feita uma comparação entre a migração convencional (tiro-a-tiro) e a migração multifocal, onde os sismogramas são somados antes da migração. Para efeito de comparação foi realizada também uma simulação de onda plana detonando todas as fontes ao mesmo tempo. Os resultados obtidos são comparados em termos de resolução e tempo de processamento.

Palavras-Chave: Migração RTM; modelagem sísmica; fonte multifocal

Abstract – The Reverse Time Migration has shown to be efficient in many applications inside of the seismic modeling. Some works have been published presenting good results in the imaging of complex structures, mainly in models with great lateral variations of velocity. However, the computational cost to process the migration of diverse seismogram registered in the surface is still high. In this work a comparison between the conventional migration (shot-the-shot) and the multi source migration was made, where the seismogram are added before the migration. For comparison effect a simulation of plain wave was carried through also detonating all the sources at the same time. The gotten results are compared in terms of resolution and time of processing.

Keywords: Reverse-time migration, seismic modeling, multi source seismic

1. Introdução

A migração RTM convencional utilizada hoje na indústria do petróleo é feita a partir do domínio comum do tiro ou receptor. Tal migração é estabelecida a partir do teorema da reciprocidade da função de Green. De uma forma simplificada pode-se dizer que o método da migração reversa no tempo se resume a um problema de condição contorno associado a uma condição de imagem. Onde, a condição de contorno é o registro do campo de pressão feito na superfície pelos geofones ou hidrofones e, a condição de imagem é o tempo de trânsito da onda direta para cada posição do modelo. Desta forma, o sismograma registrado na superfície é re-injetado no modelo do tempo final (t_f) até ao tempo inicial ($t=0$). Uma das suas principais vantagens é que neste método pode-se utilizar a equação da onda completa (Cunha, 2003), com isto, pode-se migrar refletores com qualquer inclinação, entretanto, para se evitar reflexões múltiplas originadas no processo de migração, é necessário que a depropagação do campo se faça em apenas uma direção. Para isso, o modelo de impedância acústica deve ser suavizado. Quando se considera densidades constantes, esta suavização pode ser realizada sobre o campo de vagarosidade ($=1/vel$) (Farias, 1986). Outra vantagem é que a migração RTM apresenta bons resultados em modelos complexos com grandes variações laterais de velocidade. A desvantagem é que apesar dos clusters de computadores utilizados hoje em dias, o processo é custoso em termos de velocidade de processamento.

O objetivo deste trabalho é de aplicar o conceito de fonte multifocal introduzido por Farias (1986) e Cunha (2003) em um modelo geológico complexo. A diferença neste tipo de simulação é que os disparos são realizados todos de uma só vez, gerando assim uma onda plana que se desloca ao longo do modelo. Todo o processo de imageamento deve então ser feito considerando esta onda plana. Por exemplo, os tempos da chegada da onda direta em cada posição da malha (TD's) são calculados um única vez para migração de todos os tiros. O modelo de velocidade utilizado é o Marmousi (Figura 1). Este modelo sintético gerado pelo Instituto Francês de Petróleo é um exemplo de estruturas complexas em sub-superfície baseado na geologia *offshore* da Bacia de Cuanza, Angola (Versteeg & Grau, 1990). O modelo de velocidade suavizado (Figura 2) foi utilizado para a realização do cálculo da onda direta (condição de imagem associada à primeira chegada) e para o processo de depropagação dos dados na migração. A forma de determinação dos tempos de chegada da onda direta foi realizada de acordo com o proposto por Silva (2002) onde se considera a variação temporal da amplitude da primeira quebra com o objetivo de retirar os artefatos normalmente encontrados quando apenas registramos a máxima amplitude do campo de onda. A geometria e o modelo de velocidade foram criados para produzir um dado sísmico complexo que exige técnicas de processamento avançadas para o correto imageamento das estruturas (Mora, 2002). Os parâmetros do modelo e os utilizados na simulação estão listados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do modelo e aquisição utilizados nas simulações

Parâmetros do Modelo e Aquisição	
Número de amostra	258
Número de traços	760
Número de tiros	760
Intervalo entre receptores	12 metros
Intervalo entre pontos	12 metros
Velocidade máxima	5500 m/s
Velocidade Mínima	1500 m/s
Intervalo entre tiros	12 metros
Intervalo de amostragem	0.4 ms
Tempo total de registro	6.0 s
Frequência De corte	28 Hz

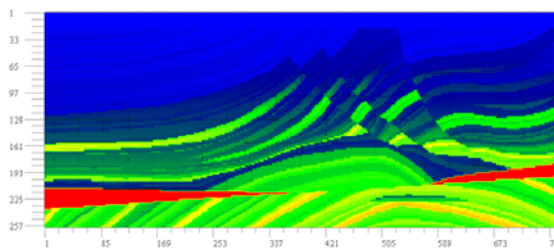


Figura 1. Modelo de velocidade.

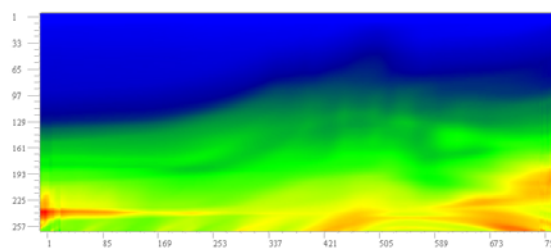


Figura 2. Modelo suavizado.

Foi feita a discretização da equação da onda pelo método das diferenças finitas com aproximações de segunda ordem para as derivadas temporais e quarta ordem para as espaciais.

2. Metodologia

A metodologia utilizada para realização da modelagem para um tiro e para a onda plana, onde todos os tiros são detonados de uma única vez, segue a mesma sequência, exceto pelo fato de que na onda plana a quantidade de passos é bastante inferior, conseqüentemente, menor custo computacional.

2.1. RTM Convencional

Neste caso para cada um dos pontos de tiro na profundidade de observação (j_{obs}) é feita uma detonação da fonte e registrado uma matriz de tempo de trânsito da onda direta (td) e, em todos os receptores (x_{rec}) são registrados o sismograma (sis) que serão *inputs* para o programa de migração que irá gerar uma seção sísmica em profundidade com uma amostragem de 100%. Após todos os tiros serem migrados estes são somados e o produto final é uma seção sísmica com a amostragem proporcional à quantidade de sismogramas (ns). Portanto, pelos princípios de Huygens, da reversibilidade temporal e da reciprocidade, matematicamente podemos escrever que:

$$\nabla^2 U - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = f(t) \delta(x - x_f) \delta(z - z_f) \quad (1)$$

$$\nabla^2 U - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = sis(i, j_{obs}, t) \delta(x - x_{rec}) \quad (2)$$

$$M_{(i,j)} = \sum_{m=1}^{Ns} U_{mig}(i, j, t = t_d(x_d, z_d)), \quad (3)$$

onde, U é a solução da Equação 1 para a propagação do campo de pressão, $f(t)$ é a função fonte e t_d é o tempo de trânsito da onda direta a partir da fonte até cada posição (x, z) do modelo. Desta forma, a imagem da seção migrada M (Equação 3) será construída pelo somatório das várias amostras do campo de onda migrado (U_{mig}) que corresponde à solução do processo de migração descrito na Equação 2. Este procedimento se resume na migração de cada sismograma individualmente e depois na soma dos resultados, o que requer muito tempo computacional.

2.2. RTM Multifocal

Praticamente a metodologia usada neste caso é igual ao caso anterior porém, com a detonação de todas as fontes no mesmo instante, gerando assim, uma onda plana que se desloca para dentro do modelo e refletindo nas interfaces entre as camadas retornam para os receptores onde são registradas no sismograma único. A condição de imagem para o processo de migração é gerada também em uma única etapa. Em um modelo de velocidade suavizado, detonam-se todas as fontes e registra-se em uma única matriz (td) o tempo de trânsito entre as fontes e cada posição do modelo. Inicia-se então, o processo de migração dos dados registrados no sismograma confrontando com a condição de imagem registrada na matriz td .

3. Resultados

A seguir serão apresentados os resultados dos processos de migração reversa no tempo para um tiro convencional e para a onda plana. As Figuras 3(a) e (b) mostram as matrizes de tempo de trânsito da onda direta.

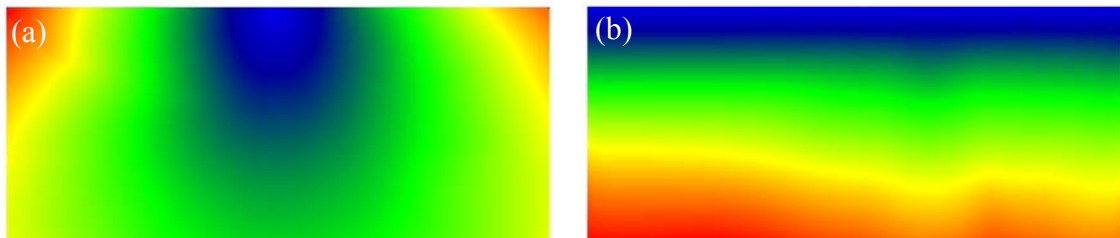


Figura 3. Tempo de trânsito da onda direta para um tiro convencional (a) e para onda plana (b). A cor azul indica um menor tempo enquanto a vermelha indica os pontos com maior afastamento da fonte.

A Figura 4 apresenta os sismogramas que são originados da modelagem direta para um tiro (a) e para a onda plana originada a partir da fonte multifocal (b). No caso da modelagem convencional foram registrados 760 sismogramas, 760 matrizes de tempo e conseqüentemente, após o processo de migração foram somados 760 seções

migradas em profundidade. Este processo pode ser otimizado se forem somados todos os sismogramas e realizar apenas uma migração. Neste caso, a condição de imagem será a usada no caso da fonte multifocal.

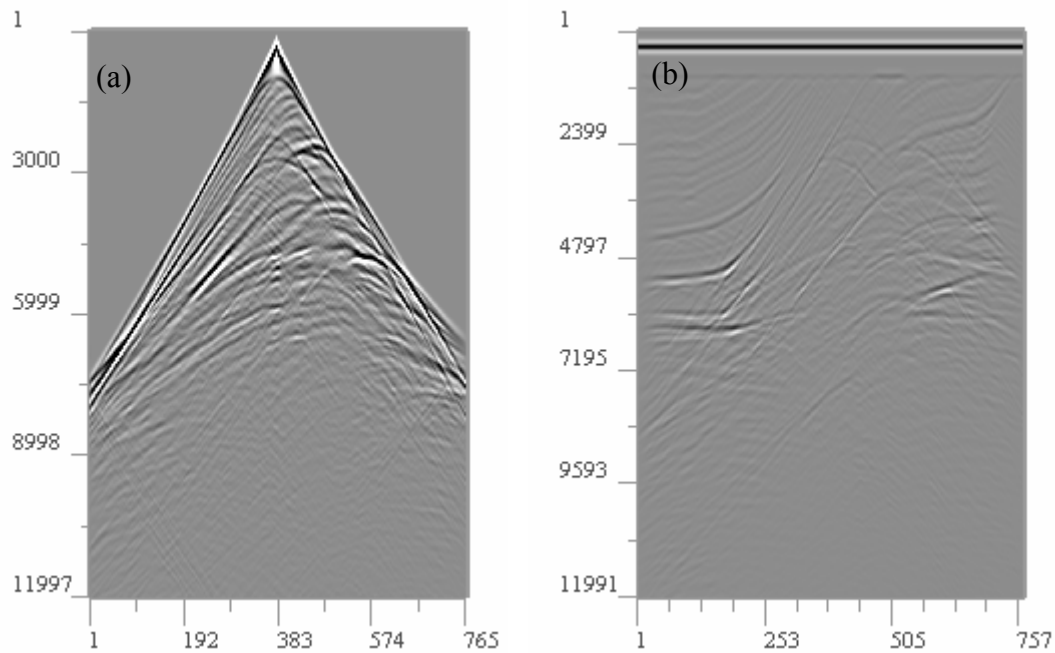


Figura 4. Sismogramas para um tiro dado no PT380 (a) e para fonte multifocal (b).

Os resultados dos processos de migração para os 760 tiros e para um único tiro detonando-se todas as fontes em um mesmo instante (onda plana) são apresentados na Figura 5 (a) e (b), respectivamente.

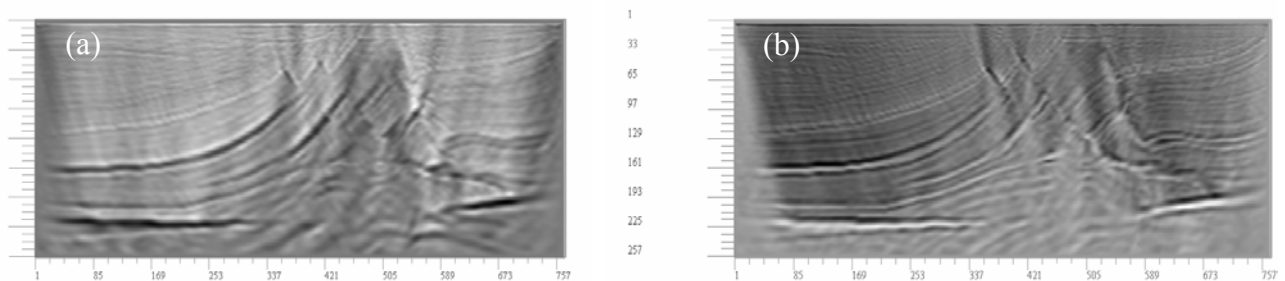


Figura 5. Resultado final do processo de migração para 760 tiros registrados de forma convencional (a) e para apenas uma fonte multifocal simulando uma onda plana (b).

4. Conclusões

A Tabela 2 resume os custos computacionais para realização dos dois processos de migração, convencional e multifocal. A diferença entre os processos é bastante significativa, principalmente quando consideramos que os resultados são idênticos.

Tabela 2. Custo computacional em minutos.

Processo	Convencional	Multifocal
Geração dos sismogramas	760*2=1520 min	2 min
Soma dos sismogramas	180 min	0
Geração dos TD's	2 min	2 min
Migração	2 min	2 min
Total	1704 min	6 min

As seções migradas apresentadas na Figura 5 mostram que o processo multifocal ganha em termos de resolução principalmente na região abaixo das falhas.

8. Referências

- FARIAS, E. L., Migração antes do empilhamento utilizando propagação reversa no tempo. *Tese de mestrado* - UFBA, Bahia - Brasil, 1986.
- CUNHA, P. E. M., A multi source version of the reverse time migration (RTM). *Eighth International congress of the Brazilian Geophysical Society*. Rio de Janeiro – Brazil, 2003.
- VERSTEEG, R., e GRAU, G., Practical Aspects of Seismic Data Inversion, the Marmousi Experience: Proceedings of 1990 EAGE Workshop. *52nd Annual Meeting*, Soc. Expl. Geophys, 1990.
- MORA, C. B., Marmousi Synthetic Dataset. *Stanford Exploration Project*. Report DATALIB, 2002.
- SILVA, J. J., Migração reversa no tempo: resolução em levantamento sísmico interpoços. *Tese de Mestrado*, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.