

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Análises de Amplitude com o Ângulo (AVA): Implementação de Diferentes Esquemas de Extrapolação em Imagens Geradas à partir da Migração Reversa no Tempo

AUTORES:

Ana Paula dos Santos da Silva¹, André Bulcão², Luiz Landau¹

INSTITUIÇÃO:

¹LAB2M/COPPE/UFRJ - ²CENPES/PETROBRAS

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

Análises de Amplitude com o Ângulo (AVA): Implementação de Diferentes Esquemas de Extrapolação em Imagens Geradas à partir da Migração Reversa no Tempo

Abstract

The angle dependent reflectivity of a reservoir target is a crucial input for reservoir characterization. A pre-stack depth migration should be able to produce not only an accurate structural image, but also reliable angle-dependent information. The propose of this work is to present the results of an investigation about how different wave equation implementations can influence the amplitudes of a migrated section in the wave field extrapolation by means of Reverse Time Migration (RTM) approach. These amplitudes are employed in order to perform an analysis of their variations with respect to the incidence angle on a specific reflector(AVA - Amplitude versus Angle), resulting in important information for the reflection coefficients characterization of an interface in sub-surface. The results showed that performing the Reverse Time Migration method with different implementations described in this work to generate plots related to theoretical reflection coefficients and, therefore, these plots can be used in the AVA analysis.

Introdução

Na Migração Reversa no Tempo (RTM) usando a equação acústica da onda, também chamada de equação completa da onda, existem artefatos na imagem em profundidade associados com a extrapolação do campo de onda, que são refletidos durante o processo de depropagação do campo de ondas. Estes artefatos prejudicam o imageamento de estruturas complexas e as análises de variações de amplitude com o ângulo (AVA), pois migrações antes do empilhamento que produzem amplitudes verdadeiras são pré-requisitos para este tipo de análise.

Na literatura especializada existem alguns esquemas de implementação da equação da onda que visam preservar as *turning waves*. É importante a consideração da preservação das “*Turning Waves*” nas etapas do processamento que precedem a migração. A migração destas ondas pode se mostrar eficiente para o imageamento de seções com mergulho próximo a 90°. A direção de propagação deste tipo de ondas é alterada dentro do modelo devido à variações de impedância. Um exemplo de modelo em que ocorre esse fenômeno é onde existe um gradiente vertical de velocidade, como é o caso de modelos com condições geológicas semelhantes as encontradas nas regiões de tectônica salífera do Golfo do México e da Bacia de Santos. . A chave do imageamento destas estruturas é o desenvolvimento e uso de algoritmos capazes de imagear feições com elevado mergulho.

Neste trabalho são testados dois esquemas de implementação da equação da onda com o objetivo de preservar as *turning waves* visando fazer a comparação com o esquema que utiliza a Equação Acústica da Onda. A implementação destes métodos têm por objetivo melhorar a imagem gerada no processo de Migração Reversa no Tempo, além de verificar a preservação das amplitudes para análises de AVA.

Os chamados coeficientes de reflexão e transmissão da onda plana desempenham um papel importante na propagação de ondas sísmicas. A variação do coeficiente de reflexão com o ângulo de incidência fornece a variação da refletividade com o afastamento e é a base para a análise da amplitude com o ângulo (AVA). Uma migração que produza amplitudes precisas é de extrema importância para análises deste tipo, sendo um pré-requisito para a inversão de variações de amplitude com o ângulo (AVA)

O método de solução que utiliza a equação da onda acústica, princípio básico dos processos de modelagem e migração, é a abordagem mais difundida, sendo geralmente tomada como método de prova para a comparação com resultados de novos métodos propostos.

Um dos métodos testados neste trabalho, é a utilização da chamada Equação Acústica da Onda Não Reflexiva nos processos de cálculo da condição de imagem e migração. O uso desta equação fornece um ótimo resultado para a migração de “*Turning Waves*” devido a redução do coeficiente de reflexão efetivo, como mostrado por BAYSAL ET AL(1984). Para regiões homogêneas do modelo esta equação fica idêntica à equação acústica da onda. Entretanto, quando se propaga de um meio para outro, o coeficiente de reflexão efetivo para uma incidência normal é zero e para outros ângulos é pequeno.

E por fim, são realizadas simulações implementando um esquema de separação do campo de ondas em suas componentes ascendente e descendente. Nesta área, existem vários trabalhos que aplicam diferentes versões da equação unidirecional (*one way*) da onda para fazer a separação do campo de ondas, que é extrapolado apenas na direção descendente. O uso desta técnica evita o aparecimento de artefatos indesejáveis no processo de migração. Porém com este tipo de metodologia alguns tipos de ondas não são bem representados em modelos unidirecionais, como as *turning waves* [SILVA,1995].

No presente trabalho, foi aplicada uma técnica de separação do campo de ondas com o objetivo de preservar as *turning waves* e de melhorar o imageamento em estruturas com geometrias complexas. A técnica utilizada é um novo esquema proposto por BULCÃO ET AL (2007).

À partir das imagens resultantes das três implementações diferentes da equação da onda em um modelo simples foram feitas análises de AVA com o objetivo de verificar se os processos de Migração Reversa no Tempo realizados preservaram as amplitudes do modelo.

Metodologia

Equação Acústica da Onda (AC)

Geralmente, em problemas geofísicos de propagação de ondas assume-se que o meio físico seja regido pela Equação Acústica da Onda, onde se consideram apenas ondas compressionais.

A Equação Acústica da Onda pode ser simplificada e expressa em duas dimensões através de uma equação diferencial, que representa o comportamento do campo de ondas acústico com variações no espaço e no tempo, considerando a densidade do meio constante. Matematicamente tem-se a equação (1) a seguir:

$$\frac{\partial^2 P(x, z, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P(x, z, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P(x, z, t)}{\partial t^2} = f(t) \delta(x - x_f) \delta(z - z_f) \quad (1)$$

Equação Não Reflexiva da Onda (NR)

A denominada Equação Não Reflexiva da Onda é uma modificação da Equação Acústica da Onda, onde impõe-se que a impedância seja constante ao longo de todo o modelo [SILVA, 1995]. Esta modificação na Equação Acústica da Onda minimiza as reflexões durante o processo de extrapolação do campo de ondas, reduzindo o aparecimento dos indesejáveis artefatos característicos ao método de Migração Reversa no Tempo [CARCIONE, 2003].

A Equação Acústica Não Reflexiva da Onda em duas dimensões é representada pela equação (2). Nota-se que esta equação possui um termo adicional em relação a Equação Acústica da Onda (equação 1).

$$\frac{1}{c} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial c}{\partial z} \frac{\partial P}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = f(t) \delta(x - x_f) \delta(z - z_f) \quad (2)$$

Separação Direcional do Campo de Onda (SC)

No esquema proposto por BULCÃO *et al.* (2007), emprega-se a Equação Acústica da Onda e, em cada passo de tempo, aplica-se um procedimento para a separação do campo de ondas nas direções ascendente e descendente. Deste modo, pode-se empregar tal esquema obtendo-se a componente do campo de ondas na direção adequada para o imageamento sísmico durante o método de Migração Reversa no Tempo.

Esta metodologia de separação direcional do campo de onda é comumente utilizada em problemas eletromagnéticos, e se mostrou eficiente quando aplicada no cálculo da matriz de tempo de trânsito e na migração sísmica [BULCÃO *et al.*, 2007].

Neste esquema, a equação (3), é utilizada com o intuito realizar a separação do campo de onda na direção descendente.

$$u^- = \frac{1}{2} (\dot{u} - cu_j) \quad (3)$$

Onde: u é o campo de onda acústico, c é a velocidade de propagação e u^- representa o campo de onda na direção descendente.

Resultados e Discussão

Nas análises apresentadas a seguir empregou-se um modelo de velocidades com cinco camadas planas paralelas, no qual realizou-se um estudo de AVA (amplitude versus ângulo) considerando as amplitudes em cada uma das quatro interfaces do modelo oriundas das imagens em profundidade, obtidas através dos diferentes esquemas de extrapolação na Migração Reversa no Tempo.

Em todos os gráficos de AVA apresentados ao longo deste artigo, as amplitudes das imagens migradas foram re-escaladas de tal forma que, para o ângulo de incidência normal, o valor de amplitude coincida com o valor teórico do coeficiente de reflexão [CHATTOPADHYAY *et al.*, 2008]. Nestes gráficos, as linhas vermelhas pontilhadas representam o ângulo de incidência máxima, considerando o dispositivo de aquisição empregado, no qual pode-se obter informações de coeficiente de reflexão.

O modelo de velocidades adotado possui 5000 m de extensão e 3000 m de profundidade. A profundidade dos refletores são, respectivamente, 600 m, 1100 m, 1600 m e 2100 m. As velocidades compressionais do modelo são: 2000 m/s, 2100 m/s, 2200 m/s, 2300 m/s e 2500 m/s, considerando as respectivas camadas em profundidade. O espaçamento da malha (*grid*) utilizado na discretização é de 5 m e o intervalo de tempo é de 0,0004 s, para que fossem satisfeitas as condições de estabilidade e dispersão numérica. Foi utilizada uma fonte explosiva com a frequência de 30Hz. O sismograma sintético (figura 3 (a)) foi extraído em 1001 receptores localizados ao longo da superfície do modelo considerando 0,4 s de simulação, estando a fonte localizada na posição $x = 2500$ m e $y = 10$ m.

O sismograma sintético obtido na modelagem foi pré-processado antes da realização da migração, retirando-se a onda direta e, para minimizar os efeitos de borda indesejáveis no processo de migração, 50 traços laterais do sismograma foram suavizados. O sismograma utilizado pode ser visto na figura 1.

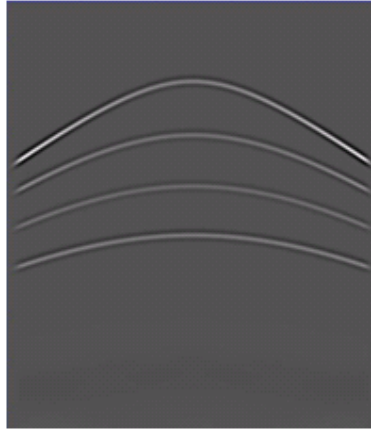


Figura 1. Sismograma Sintético pré-processado utilizado nos processos de migração

As imagens em profundidade obtidas com cada um dos diferentes esquemas apresentados podem ser vistas nas figuras 2. Tais imagens foram empregadas para a comparação das amplitudes ao longo do refletores com os coeficientes de reflexão teóricos nas interfaces.

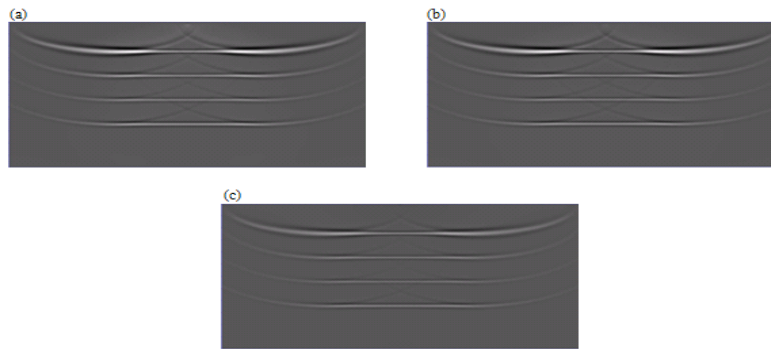


Figura 2 - Imagens em profundidade obtidas à partir do esquema de Migração Reversa no Tempo empregando: (a) Equação Acústica da Onda (AC), (b) Equação Não Reflexiva da Onda (NR) e, (c) Equação Acústica da Onda com o esquema de Separação do Campo de Ondas (SC).

As imagens em profundidade obtidas se mostraram equivalentes devido à simplicidade de um modelo de velocidades de camadas planas paralelas. Porém, com a adoção do esquema de separação do campo de ondas a imagem mostrou uma redução dos artefatos característicos do esquema de Migração Reversa no Tempo.

Nas figuras 3, 4, 5 e 6 estão plotados os gráficos do estudo de AVA, respectivamente, para a primeira, segunda, terceira e quarta interfaces do modelo de velocidades, considerando os três diferentes esquemas apresentados para a extrapolação do campo de ondas. Os ângulos de incidência máximos em que se consegue obter informações de amplitude para cada interface, considerando as dimensões do dispositivo de aquisição e do modelo de velocidades, são: 64,3°; 50,3 °; 40,2° e 33,2 °, respectivamente para a primeira, segunda, terceira e quarta interfaces.

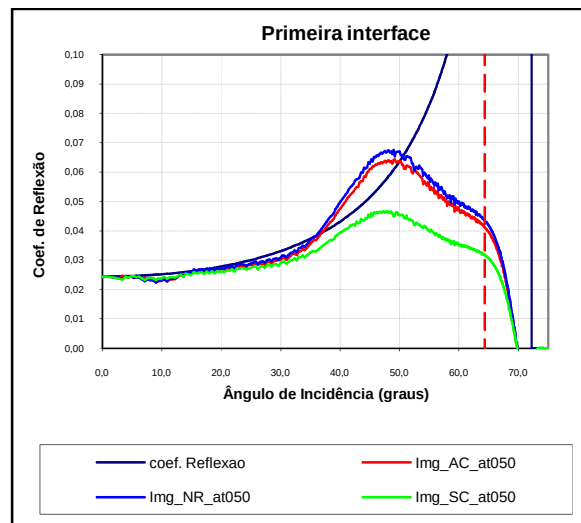


Figura 3. Análise de AVA para a primeira interface do modelo

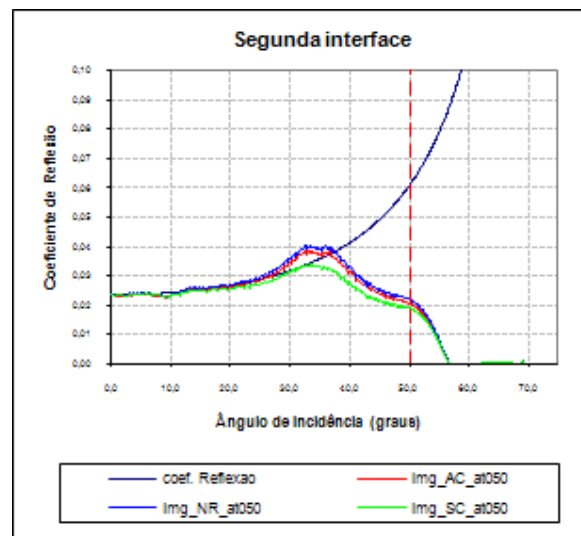


Figura 4. Análise de AVA para a segunda interface do modelo

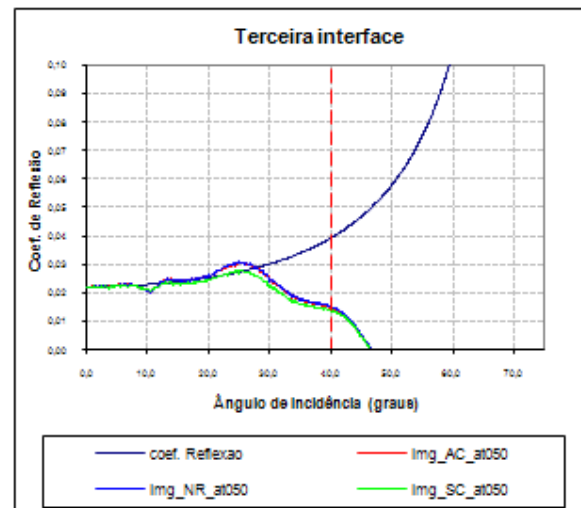


Figura 5. Análise de AVA para a terceira interface do modelo

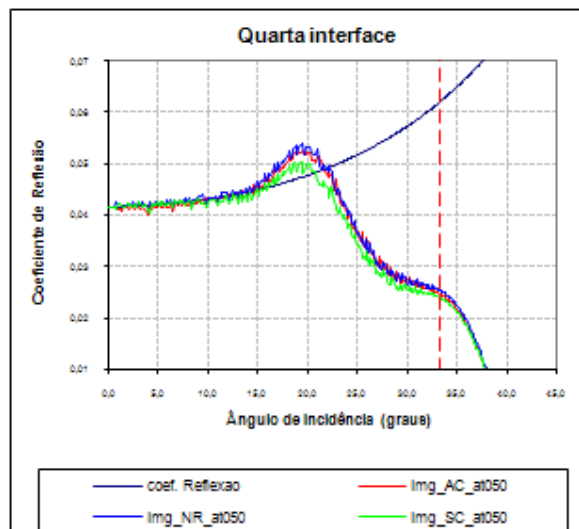


Figura 6. Análise de AVA para a quarta interface do modelo

A fim de avaliar a influencia do dispositivo de aquisição nas respostas de AVA, considerando o ângulo de incidência no qual os resultados de amplitudes da Migração Reversa no Tempo se ajustam adequadamente em relação a curva teórica, o comprimento do modelo de velocidades foi estendido duas vezes em relação ao modelo original, sendo o sismograma adquirido ao longo de toda sua extensão. Os demais parâmetros das simulações foram mantidos inalterados.

Na figura 7 apresenta-se o gráfico de estudo de AVA para a quarta interface do modelo de velocidades estendido, considerando os três diferentes esquemas de Migração Reversa no Tempo analisados. Comparando-se as curvas deste gráfico com as curvas do modelo de velocidades original (figura 9) nota-se que, no modelo estendido ocorreu uma melhoria significativa do ângulo de incidência no qual as curvas apresentam uma boa correlação com a resposta do coeficiente de reflexão teórico, evidenciando desta forma a influencia da largura do dispositivo de aquisição.

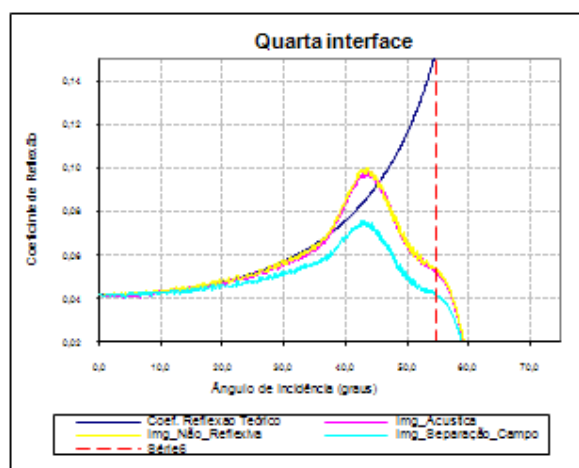


Figura 7. Análise de AVA para a quarta interface do modelo de velocidades estendido.

Conclusões

De forma geral, os resultados apresentaram boa correlação com os resultados do coeficiente de reflexão teóricos para as diversas interfaces do modelo de velocidades analisado. Evidenciando que as amplitudes oriundas dos esquemas de Migração Reversa no Tempo podem ser adotadas para análises de amplitude versus ângulo (AVA) e amplitude versus *offset* (AVO).

Os resultados apresentados mostraram que o uso da Equação Acústica da Onda e da Equação Acústica Não Reflexiva da Onda no esquema de Migração Reversa no Tempo proporcionaram melhores resultados na preservação de amplitudes para análise de AVA do que o com emprego do esquema de Separação do Campo de Ondas.

Observou-se que a influência da geometria do dispositivo de aquisição pode interferir de forma significativa nas análises de AVA. Tal observação evidencia o cuidado que deve ser tomado para a correta definição dos parâmetros de aquisição.

Agradecimentos

À Agência Nacional do Petróleo (ANP) pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- BAYSAL, E., KOSLOFF, D. & SHERWOOD, J. W. C., 1984, "A two-way nonreflecting wave equation", *Geophysics*, 49, pp.132-14.
- BULCÃO, A., 2004. "Modelagem e Migração Reversa no Tempo Empregando Operadores Elásticos e Acústicos". Dissertação de Doutorado da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- BULCÃO, A., SOARES FILHO, D. M., MANSUR, W. J., 2007. "Improved Quality of Images Using Reverse Time Migration", *SEG/San Antonio Annual Meeting*, pp. 2407-2411.
- CARCIONE, M.J., FINETTI, R.I., GEI, D., 2003, "Seismic Modeling Study of Earth's Deep Crust", *Geophysics*, 68, pp. 656-664.
- CUNHA, P. E. M., 1997, "Estratégias Eficientes Para Migração Reversa no Tempo Pré-empilhamento 3-D em Profundidade pelo Método das Diferenças Finitas", Dissertação de Mestrado da Universidade Federal da Bahia, CPGG/UFBA, Bahia, Brasil.
- SILVA, R. P., 1995, "Uso da migração reversa no tempo para estimar velocidades e migrar *"turning waves"*". Dissertação de Mestrado da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.