



# Migração 3-D pré-empilhamento em profundidade com os métodos SS-PSPI e RTM: um experimento usando os dados 3-D SEG-EAGE.

Gary C. Aldunate\* e Reynam C. Pestana, CPGG/UFBA e INCT-GP/CNPQ

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the Twelfth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the Twelfth 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

**In this work we compare migrated sections reconstructed by the reverse time migration (RTM) method, which uses the full 3-D acoustic wave equation, with the split-step and phase-shift plus interpolation (SS-PSPI) method, which is a one-way 3-D acoustic wave equation solution.**

**The RTM method is implemented using the rapid expansion method (REM) and it shows better results compared to the migrated section obtained with the SS-PSPI method. However, in terms of computational cost the SS-PSPI method is much faster than the RTM method as expected.**

**For this numerical experiment we used the 3-D SEG-EAGE dataset and, for comparison, the same computer resources parameters were used in both 3-D migration methods.**

## Introdução

Atualmente aquisições sísmicas 3-D têm-se tornado um procedimento padrão. O processamento sísmico de dados 3-D é inerentemente diferente do processamento 2-D. As diferenças começam com a aquisição dos dados. As geometrias de aquisição de dados 3-D são consideravelmente mais irregulares que as geometrias 2-D e com um considerável incremento na quantidade de informação a ser processada.

Aquisições marinhas 3-D do tipo “Narrow Azimuth” (alcance curto) e “Wide Azimuth Tower Streamers” - WATS (alcance longo) são comuns no Golfo de México. Devido à enorme quantidade de dados coletados neste tipo de levantamento, o processamento é custoso computacionalmente.

Como uma etapa final e importante do processamento, a migração pré-empilhamento em profundidade transforma os dados sísmicos registrados numa imagem, e essa imagem é considerada como uma descrição estrutural precisa da subsuperfície (Etgen et al., 2009).

Uma solução aproximada para a equação acústica da onda 3-D é a sua versão unidirecional que leva em conta, somente uma direção preferencial para a propagação da onda. Da forma como é resolvida esta equação, surgiram vários operadores unidirecionais para a extrapolação do

campo de onda. Entre esses métodos, o método “Split-Step” (Stoffa et al., 1990) tem se destacado pelo seu alto rendimento computacional, robustez e estabilidade numérica. Uma extensão deste método para meios 3-D, que leva em conta várias velocidades de referência seguida de uma interpolação, é o método de migração 3-D SS-PSPI (“Phase-Shift-Split-Step-Plus-Interpolation”) (Aldunate and Pestana, 2010), onde o método estatístico de percentis é usado para selecionar, de uma forma mais criteriosa, as velocidades de referência. Neste trabalho, se comparam os resultados obtidos com o método 3-D SS-PSPI com os resultados obtidos com o método de migração reversa no tempo (RTM - “Reverse Time Migration”, sigla em inglês).

A solução da equação acústica completa da onda em meios 3-D é apresentado e implementado por dos Santos and Pestana (2011), com o método de propagação reversa no tempo. Esse método de migração considera o campo de velocidade verdadeiro e leva em conta a propagação da onda em todas as direções, sem nenhuma restrição quanto ao mergulho dos refletores. Para uma melhor precisão na propagação dos campos de onda foi usado o método “Rapid Expansion Method” (REM) (Pestana and Stoffa, 2010; Suzarthe de Araujo, 2009; Kosloff et al., 1989), que garante um processo de extrapolação estável e sem dispersão numérica dos campos de onda em meios 3-D.

Para a simulação numérica foi usado o conjunto de dados C3-NA SEG-EAGE 3-D (Aminzadeh et al., 1996). A partir dos resultados das migrações, comparamos o desempenho computacional dos métodos, bem como a qualidade das seções migradas através da aplicação desses métodos de imageamento sísmico.

## Método de migração 3-D “SS-PSPI”

A equação acústica da onda para meios 3-D, no domínio tempo-espaço, é dada pela expressão:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2}, \quad (1)$$

onde  $P = P(x, y, z, t)$  é o campo de pressão;  $v = v(x, y, z)$  é o campo de velocidades para a propagação da onda;  $x$ ,  $y$  e  $z$  são as coordenadas espaciais e  $t$  é o tempo. Reordenando convenientemente a equação (1), para uma extrapolação em profundidade, da seguinte forma:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 P}{\partial y^2}, \quad (2)$$

e, aplicando a transformada de Fourier espacial e temporal à anterior equação (2), considerando que  $v$  não varia lateralmente, ou seja,  $v = v(z)$ , obtemos:

$$\frac{d^2 \mathcal{P}}{dz^2} = -k_z^2 \mathcal{P}, \quad (3)$$

onde  $k_z^2 = \frac{\omega^2}{v^2(z)} - k_x^2 - k_y^2$  é o número de onda vertical e  $k_x, k_y$  os números de onda horizontais, que representam as derivadas espaciais na equação (2), no domínio transformado. O campo de pressão, após a Transformada de Fourier, agora é dependente dos números de onda espaciais e da frequência temporal, ou seja:  $\mathcal{P} = \mathcal{P}(k_x, k_y, k_z, \omega)$ .

Podemos reescrever a equação (3) neste domínio (número de onda - frequência) como:

$$\left(\frac{d}{dz} + ik_z\right) \left(\frac{d}{dz} - ik_z\right) \mathcal{P} = 0. \quad (4)$$

Esta forma de fatoração permite separar a equação da onda (1) em duas equações unidirecionais - sentidos diferentes para a propagação (em relação à profundidade), uma para cima e outra para baixo. A solução destas duas equações satisfazem à equação acústica da onda (1).

A solução de uma das equações unidirecionais  $\left(\frac{d}{dz} - ik_z\right) \mathcal{P} = 0$ , usada para a extrapolação do campo de onda ao longo de cada nível de profundidade  $\Delta z$ , é:

$$\mathcal{A} = e^{ik_z \Delta z}, \quad (5)$$

onde o número de onda vertical ( $k_z$ ) é definido por  $k_z = \sqrt{\omega^2/v_0^2(z) - k_x^2 - k_y^2}$ .

Consideremos agora que a velocidade dentro de cada passo de extrapolação,  $\Delta z$ , possa também variar lateralmente, ou seja, dependa das variações em  $x$  e  $y$ , isto é,  $v = v(x, y, z)$ . Neste caso, o novo operador unidirecional, relação (5) (no domínio número de onda - frequência), passa a ser expresso como:

$$\mathcal{A}(x, y; k_x, k_y) = e^{i \sqrt{\frac{\omega^2}{v^2(x, y, z)} - (k_x^2 + k_y^2)} \Delta z}, \quad (6)$$

onde  $\omega$  é a frequência angular e  $v = v(x, y, z)$  agora é a velocidade local variando lateralmente. Entretanto, dentro da raiz quadrada existe um conflito de domínio, pois  $v$  agora depende das variáveis espaciais, ou seja, o operador está no domínio frequência - número de onda - espaço. Portanto, para superar este problema, separa-se este operador em duas funções independentes (Chen and Du, 2010):

$$\mathcal{A}(x, y; k_x, k_y) \sim \sum_{j=1}^s f_j(x, y) g_j(k_x, k_y), \quad (7)$$

onde  $f_j(x, y)$  (com  $j = 1, 2, \dots, s$ ) são funções de  $x$  e  $y$  e  $g_j(k_x, k_y)$  são somente funções dos números de onda  $k_x$  e  $k_y$ . O limite  $s$  se refere à ordem da aproximação da separação.

O método "Split-Step" com várias velocidades de referência foi proposto inicialmente por Kessinger (1991), mas sem a aplicação do processo de interpolação. O passo da interpolação foi introduzida paralelamente por Aldunate and Pestana (2006) e por Biondi (2006). Assim o método "Split-Step" com várias velocidades de referência consiste em deslocamentos de fase e interpolação. Um deslocamento de fase tipo "Phase-Shift" e o outro tipo "Split-Step", aqui denominado de operador de extrapolação 3-D SS-PSPI.

Para  $n$  velocidades de referência ( $v_n$ ) selecionadas para um certo nível de profundidade, a separação aproximada em duas funções independentes para o operador 3-D SS-PSPI, como definido na equação (7), é:

$$\mathcal{A}(x, y; k_x, k_y) \sim \sum_{j=1}^n h_j(x, y) e^{i \left( \frac{\omega}{v(x, y)} - \frac{\omega}{v_j} \right) \Delta z} e^{i \sqrt{\frac{\omega^2}{v_j^2} - k_x^2 - k_y^2} \Delta z}, \quad (8)$$

onde a função das variáveis espaciais  $x - y$  é dada por:

$$f_j(x, y) = h_j(x, y) \exp \left\{ i \left( \frac{\omega}{v(x, y)} - \frac{\omega}{v_j} \right) \Delta z \right\},$$

e a função da variáveis  $k_x - k_y$ , da seguinte forma:

$$g_j(k_x, k_y) = \exp \left\{ i \sqrt{\frac{\omega^2}{v_j^2} - k_x^2 - k_y^2} \Delta z \right\}.$$

A função  $h_j(x, y)$  (com  $j = 1, 2, \dots, n$ ) fornece os fatores de interpolação para cada ponto da malha do modelo de velocidades para cada nível de profundidade (Chen and Du, 2010; Aldunate and Pestana, 2010).

Assim, o método de migração com o operador 3-D SS-PSPI, mostrado na equação (8), contém os seguintes passos para realizar a extrapolação do campo de onda: **(1)** Um deslocamento de fase ("Phase-Shift") para cada velocidade de referência ( $v_j$ ), no domínio número de onda - frequência. Após a transformada de Fourier inversa espacial deste campo, faz-se **(2)** um deslocamento de fase temporal ("Split-Step") no domínio espaço - frequência; **(3)** finalmente se realiza uma interpolação dos  $n$  campos de onda com a função  $h_j(x, y)$ .

### Migração reversa no tempo

Reescrevendo a equação acústica da onda (1) como:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = v^2 \nabla^2 P. \quad (9)$$

Para a evolução tempo do campo de onda, através do método pseudo-espectral, calcula-se o operador Laplaciano,  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ , usando-se transformada de Fourier, onde as derivadas espaciais são calculadas da seguinte forma:  $-\{F^{-1}(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)F\}$ , e "F" representa a transformada de Fourier direta. Já o termo contendo a derivada temporal em (9),  $\frac{\partial^2 P}{\partial t^2}$ , é calculado por uma aproximação em diferenças-finitas de segunda ordem, como:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = \frac{P^{n+1} - 2P^n + P^{n-1}}{(\Delta t)^2}. \quad (10)$$

Desta forma, a expressão para a propagação reversa no tempo do campo de ondas é dada por (Suzarthe de Araujo, 2009):

$$P^{n-1} = -P^{n+1} + 2P^n - (v\Delta t)^2 \left\{ F^{-1}(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)F \right\} P^n, \quad (11)$$

e para a propagação direta é dada por:

$$P^{n+1} = -P^{n-1} + 2P^n - (v\Delta t)^2 \left\{ F^{-1}(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)F \right\} P^n. \quad (12)$$

As equações (11) e (12) precisam satisfazer a seguinte condição de estabilidade:

$$\Delta t \leq \frac{2}{v_{max} \sqrt{\left(\frac{\pi}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{\Delta z}\right)^2}}. \quad (13)$$

Esta condição poderá determinar a necessidade de uma reamostragem no dado ou no campo de velocidades para garantir a estabilidade na propagação dos campos de onda.

No método de expansão rápida REM (“Rapid Expansion Method”, sigla em inglês) (Pestana and Stoffa, 2010), considera-se uma solução exata da equação acústica da onda, equação (9), que tem a seguinte forma:

$$P(t) = \cos(Lt)P_0 + \frac{\sin(Lt)}{L}\dot{P}_0, \quad (14)$$

onde  $P_0 = P(x, y, z, t = 0)$  e  $\dot{P}_0 = (\partial P(x, y, z, t) / \partial t)|_{t=0}$ , e  $L^2 = -v^2 \{F^{-1}(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)F\}$ .

Após um incremento e um decréto de tempo ( $\Delta t$ ) na solução (14) e após alguma álgebra, obtemos:

$$P(t + \Delta t) + P(t - \Delta t) = 2\cos(L\Delta t)P(t). \quad (15)$$

Fazendo uma expansão em polinômios de Chebyshev da função  $\cos(L\Delta t)$ , obtém-se (Pestana and Stoffa, 2010; Suzarthe de Araujo, 2009; Kosloff et al., 1989):

$$\cos(L\Delta t) = \sum_{k_{par}}^M C_k J_k(\Delta t R) Q_k(iL/R), \quad (16)$$

onde  $C_{(k \neq 0)} = 2$  e  $C_{(k=0)} = 1$ ;  $J_k(\Delta t R)$  representa as funções de Bessel de ordem  $k$ ;  $Q_k(iL/R)$  são os polinômios modificados de Chebyshev e  $R$  é o valor máximo dos autovalores do sistema associado à equação da onda. O número mínimo de termos  $M$  (na expansão de Chebyshev), requerido para garantir a estabilidade numérica, durante a propagação, é  $M > R\Delta t$ , onde  $R$  é dado por:

$$R = \pi v_{max} \sqrt{\left(\frac{1}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta z}\right)^2}. \quad (17)$$

Desta forma, a propagação reversa no tempo (equação (11)) usando REM é expressa como:

$$P(t - \Delta t) = -P(t + \Delta t) + 2 \sum_{k_{par}}^M C_k J_k(\Delta t R) Q_k(iL/R) P(t). \quad (18)$$

Mais detalhes sobre a implementação computacional da migração reversa no tempo, utilizando REM, equação (18), é apresentado em dos Santos and Pestana (2011).

### Resultados numéricos e comparação

Para efetuar a migração 3-D usamos o modelo C3-NA SEG-EAGE 3-D (Aminzadeh et al., 1996) que é uma representação de uma típica estrutura de reservatório do Golfo de México. O modelo sintético apresenta um corpo de sal com flancos associados à fortes variações laterais de velocidade. O campo de velocidades usado para a migração é um campo suavizado e é um modelo padrão usado pela indústria para testes. As estruturas

de interesse para o imageamento localizam-se ao redor do corpo de sal, especialmente as estruturas embaixo do corpo de sal, bem como uma correta delimitação de toda a superfície que delimita o corpo de sal. A Figura 1 mostra uma vista deste corpo de sal.

O dado sintético simula uma aquisição sísmica 3-D marinha tipo “Narrow-Azimuth”, com 8 cabos (“streamers”) separados a 40 m de distância, contendo cada cabo um mínimo de 14 hidrofones e um máximo de 68 hidrofones. O intervalo de hidrofones é de 40 m, nas direções  $X$  e  $Y$ . O afastamento mínimo ao longo da direção  $Y$  é de 20 m e o máximo de 2683,65 m. O afastamento mínimo ao longo a direção  $X$  é de 20 m e o máximo de 140 m. Por convenção, chamaremos a direção de aquisição de “In-Line”, que neste modelo representa a direção  $Y$ , e a direção “Cross-Line”  $X$ . Os hidrofones registraram 625 amostras a cada 8 ms de intervalo, totalizando 5 s de registro. No total foram coletados 2 286 908 traços sísmicos, ocupando 6,2 Gb de espaço em disco rígido, com 4780 tiros distribuídos em 50 linhas, cada linha com 96 tiros na direção “In-Line”.

O tamanho da malha do campo de velocidades 3-D, usado para a migração, é de 210 pontos na direção em profundidade  $Z$  e 214 pontos nas direções  $Y$  e  $X$ , sendo separados de 20 m na direção  $Z$  e 40 m nas direções  $X$  e  $Y$ . Para a comparação selecionamos cortes fixos nas direções “in-line” a 7000 m, “cross-line” a 3000 m e em profundidade a 1300 m.

Na Figura 2 mostra-se a refletividade, obtido a partir do campo de velocidades exato, calculado por  $R = \sqrt{\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}}$ , que permite observar os refletores que representam as estruturas ao redor do corpo de sal. Esta seção de refletividade com os refletores localizados na sua verdadeira posição é usada para a comparação dos resultados da migração 3-D. Na Figura 2, parte superior, mostra-se um corte em profundidade, logo abaixo, um corte na direção “in-line”, onde podemos identificar refletores que representam dobras no topo do corpo de sal. À direita, um corte na direção “cross-line”. Nesses cortes, setas são usadas para indicar os refletores de interesse, os quais serão os nossos objetivos na comparação das seções migradas.

As Figuras 3 e 4 mostram os resultados das migrações pré-empilhamento em profundidade para os dados sísmicos 3-D organizados em famílias de ponto de tiro comum, com os métodos 3-D SS-PSPI e 3-D RTM-REM, respectivamente. Foram usadas entre 1 a 6 velocidades de referência por nível de profundidade para o operador 3-D SS-PSPI. No corte em profundidade, Figura 3 (parte superior) nota-se uma boa reconstrução dos refletores de uma forma geral, mas, um trecho num refletor sinalizado não é bem delineado. Os refletores que delineiam as depressões, que são destacadas pela seta no corte “In-Line” (parte inferior), não apresentam um correto imageamento com o método 3-D SS-PSPI (Figura 3), devido ao fato do mesmo se encontrar em uma região de estrutura complexa e com forte variação lateral de velocidades. Entretanto, os mesmos foram satisfatoriamente imageados pelo método de migração 3-D RTM-REM (Figura 4), onde se pode visualizar até os picos dessa estrutura. Nesta mesma seção, também a base do corpo de sal não foi bem reconstruída pelo método 3-D SS-PSPI, no setor assinalado pela seta (Figura 3), mas sendo bem

reconstruído, novamente, com o método 3-D RTM-REM (Figura 4) que também consegue mostrar outras estruturas embaixo do corpo. Na parte inferior direita da seção migrada (corte na direção "Cross-Line"), a base do corpo de sal foi pobremente reconstruída com o método 3-D SS-PSPI, mas corretamente imageada com o método 3-D RTM-REM (Figura 4). O refletor horizontal representando a plataforma também é bem reconstruído.

Comparando a qualidade dos resultados da migração entre os métodos de migração 3-D SS-PSPI e 3-D RTM-REM, vemos que ambos métodos reconstróem todos os refletores, embora os refletores associados a fortes variações laterais de velocidade e fortes mergulhos não são corretamente imageados pelo método de migração 3-D SS-PSPI, sendo esta uma grande limitação deste método. A seção migrada com o método 3-D RTM-REM é superior nesta região, onde os refletores estão associados a fortes variações laterais de velocidade, pois este método soluciona a equação completa da onda sem nenhuma aproximação. Entretanto, a seção migrada com o método 3-D SS-PSPI mostra um resultado interessante para este modelo e, se comparamos a performance computacional deste método com o método 3-D RTM-REM, chegamos a uma razão de 1 : 35, ou seja, o método 3-D RTM-REM consome um tempo de migração 35 vezes maior do que o método 3-D SS-PSPI. Devido à esta enorme vantagem computacional para meios 3-D, uma boa avaliação do custo/benefício e dos alvos a serem atingidos, poderá definir a escolha do método antes de empreender uma migração pré-empilhamento em profundidade 3-D. Para meios 2-D a razão diminui notavelmente, para 1 : 6 ou seja o método 2-D RTM-REM requer 6 vezes mais de tempo do que o método 2-D PSPI, segundo um estudo feito por dos Santos (2010).

A Tabela 1 mostra os tempos computacionais demandados pela migração 3-D para os métodos SS-PSPI e RTM-REM. Para efetuar a migração 3-D foi usado um "cluster" com 216 processadores, do Laboratorio de Geofísica de Exploração de Petróleo (LAGEP), do CPGG-UFBA. Cabe mencionar aqui que os dois métodos de migração foram implementadas com o protocolo de comunicação "Message Passing Interface" (MPI).

<i>Método de Migração</i>	<i>Tempo da Migração</i>
"3-D SS-PSPI"	79 min $\approx$ 1,3 h
"3-D RTM-REM"	2880 min $\approx$ 48 h

Tabela 1: Desempenho computacional da migração para os 4780 tiros para o conjunto de dados SEG-EAGE 3-D para os métodos 3-D SS-PSPI e 3-D RTM-REM.

### Conclusões

Neste trabalho comparamos o eficiência computacional e a qualidade das seções migradas com os métodos 3-D SS-PSPI e 3-D RTM-REM, no processo de migração 3-D pré-empilhamento em profundidade para famílias de registros sísmicos organizados em famílias de ponto de tiro comum. Notavelmente, o método de migração 3-D RTM-REM forneceu seções migradas de melhor qualidade, já o método de migração 3-D SS-PSPI foi

superior na performance computacional numa razão de 1:35. Numa migração 3-D, o tempo de processamento é importantíssimo devido à grande quantidade de dados a ser imageado, por outro lado, a qualidade do resultado da migração também é decisivo. Por isso, uma boa decisão baseada nesses dois fatores (desempenho/qualidade) deve ser feita para empreender uma migração para um conjunto gigante de dados 3-D.

### Agracedimentos

Agradecemos ao CNPQ e INCT/-GP/CNPQ pelo apoio financeiro, ao CPGG/LAGEP pelo suporte para realização deste trabalho e a Adriano Wagner pela ajuda na parte computacional.

### References

- Aldunate, G. C. and R. C. Pestana, 2006, Migração híbrida SS-PSPI pré-empilhamento em profundidade: Revista Brasileira de Geofísica.
- , 2010, Migração 3-D em profundidade usando o operador split-step phase-shift plus interpolation: Uma comparação de dois métodos estatísticos para a seleção das velocidades de referência: Presented at the IV Simposio Brasileiro de Geofísica.
- Aminzadeh, F., N. Burkhard, J. Long, T. Kuntz, and P. Duclos, 1996, Three dimensional SEG/EAGE models - an update: The Leading Edge, **15**, 131–134.
- Biondi, B. L., 2006, 3-D seismic imaging: SEG.
- Chen, J. B. and S. Y. Du, 2010, Kinematic characteristic and the influence of reference velocities of phase-shift-plus-interpolation and extended-split-step-fourier migration methods: Geophysical Prospecting, **58**, 429–439.
- dos Santos, A. W. G., 2010, Desafios Computacionais da Migração Reversa no Tempo Pré-empilhamento: Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- dos Santos, A. W. G. and R. C. Pestana, 2011, Migração reversa no tempo 2-D e 3-D: Estratégias para reduzir o custo computacional em ambiente paralelo: Submitted to 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.
- Etgen, J., S. Gray, and Y. Zhang, 2009, An overview of depth imaging in exploration geophysics: Geophysics, **76**, WCA5–WCA17.
- Kessinger, W., 1991, Extended split-step fourier migration: SEG 62nd Annual Meeting, 1650–1660.
- Kosloff, D., A. Q. Filho, E. Tessmer, and A. Behle, 1989, Numerical solution of the acoustic and elastic wave equations by a new rapid expansion method: Geophys. Prosp., **37**, 383–394.
- Pestana, R. C. and P. L. Stoffa, 2010, Time evolution of the wave equation using rapid expansion method: Geophysics, **75**, 121–131.
- Stoffa, P. L., J. T. Fokkema, R. M. L. Freire, and W. P. Kessinger, 1990, Split-step fourier migration: Geophysics, **55**, 410–421.
- Suzarthe de Araujo, E., 2009, Análise dos Métodos de Diferenças Finitas e Expansão Rápida na Migração Reversa no Tempo: Master's thesis geophysics, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.

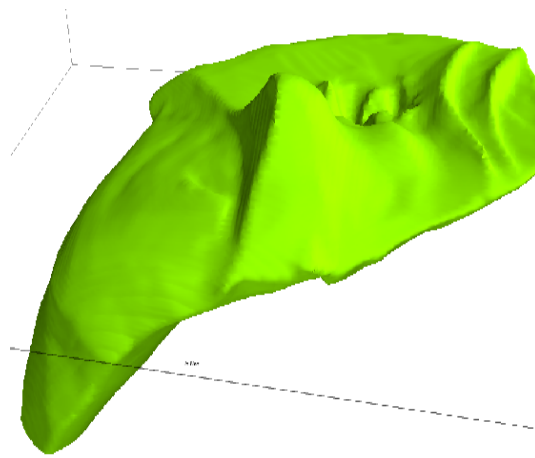


Figure 1: Corpo de sal do modelo C3-NA SEG-EAGE 3-D.

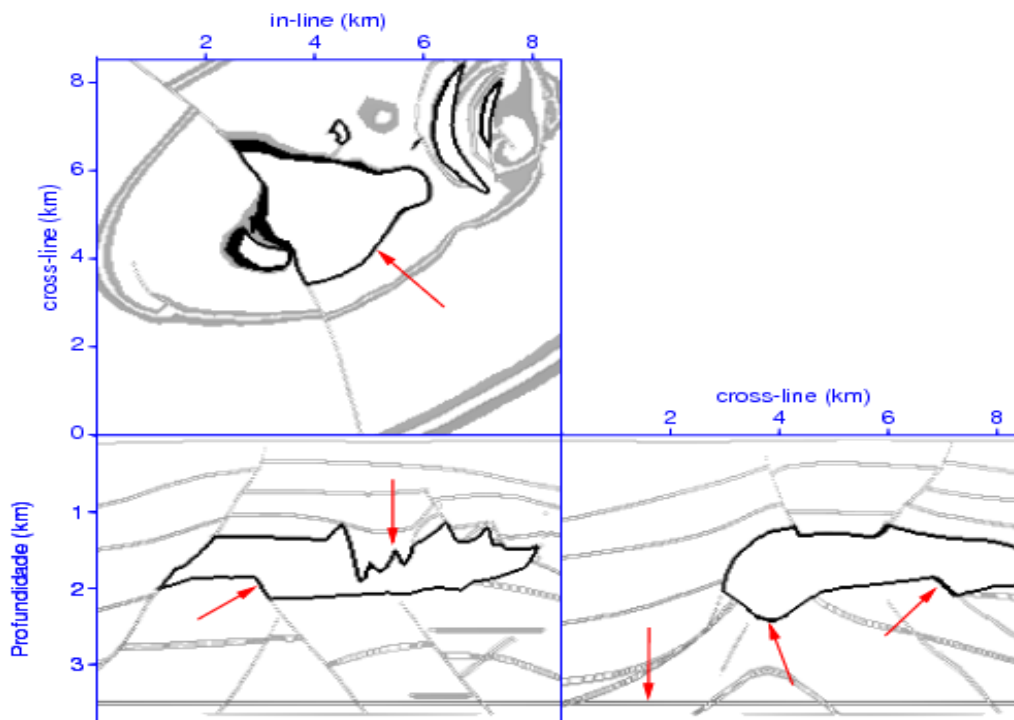


Figure 2: Seção de refletividade contendo todos os refletores na sua correta posição espacial do modelo C3-NA SEG-EAGE 3-D.

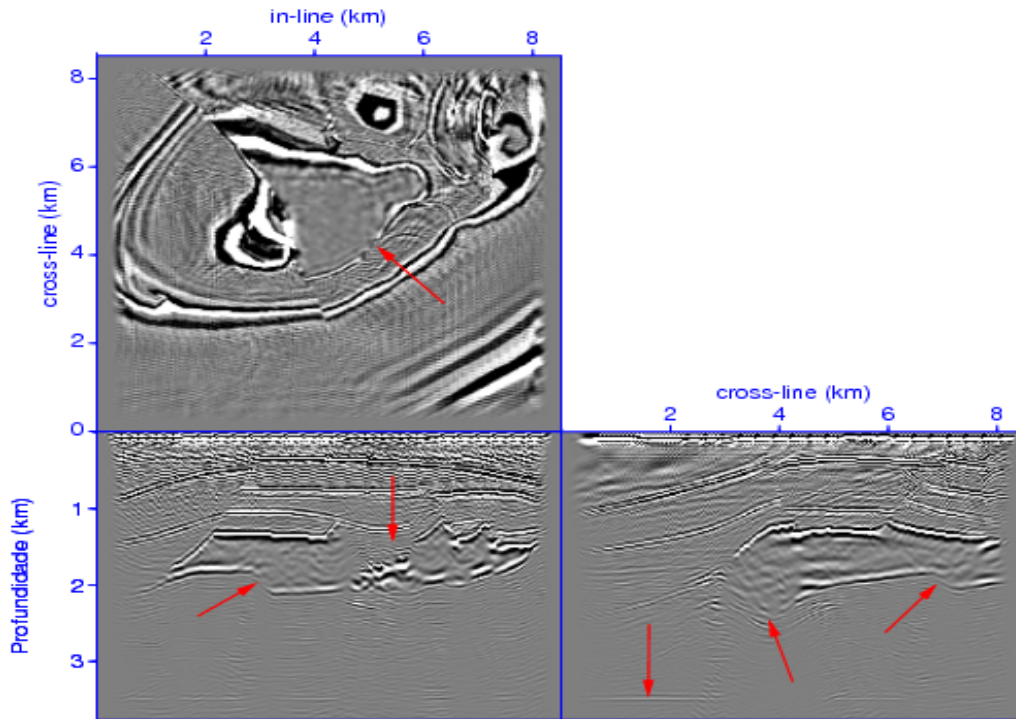


Figure 3: Resultado da migração 3-D com o método SS-PSPI, onde são sinalizadas alguns refletores de interesse para comparação.

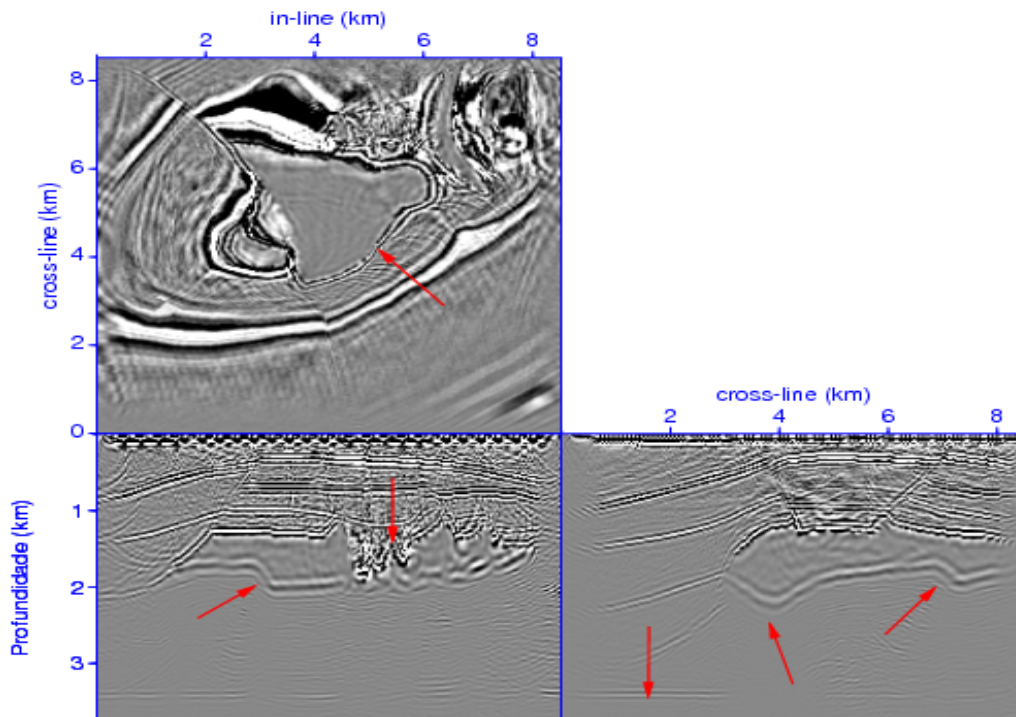


Figure 4: Resultado da migração 3-D com o método RTM-REM. Esta seção mostra uma melhor qualidade do que a obtida pelo método 3-D SS-PSPI (Figura 3).