

EXTRAPOLAÇÃO E IMAGEAMENTO SÍSMICO EM MEIOS COMPLEXOS ASSOCIADO À TÉCNICA CFP

Márcio de Araújo Martins (COPPE/UFRJ)¹, Josias José da Silva(COPPE/UFRJ)¹, Djalma M. S. Filho(CENPES/PETROBRAS)² e Luiz Landau(COPPE/UFRJ)¹

1: Laboratório de Modelagem Multidisciplinar de Bacias - LAB2M
LAMCE/COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Cidade Universitária, CT, Bloco I-2000, Sala I-214, CEP: 21949-900
Rio de Janeiro - Brasil
e-mail: mmartins@lab2m.coppe.ufrj.br web: <http://www.lab2m.coppe.ufrj.br>

2: Centro de Pesquisas da PETROBRAS
CENPES/PETROBRAS
Cidade Universitária, Q-7, Ilha do Fundão, CEP: 21949-900, Rio de Janeiro - Brasil
e-mail: Djalma@petrobras.com.br web: <http://www.petrobras.com.br>

O imageamento sísmico, através da propagação de ondas, tem sido uma das técnicas mais utilizadas para a obtenção de informações a respeito da formação geológica em subsuperfície. Além do mais, imagear regiões abaixo de geologias muito complexas é um desafio para os pesquisadores da área, pois tal complexidade influencia de forma determinante nos resultados obtidos, sendo, portanto muito difícil o imageamento nessas regiões. A técnica de modelagem CFP (*Common Focus Point*) tem se mostrado bastante útil no sentido de minimizar ou reduzir a influência dessas regiões complexas nos dados de real interesse. Na técnica CFP, simula-se computacionalmente um tiro próximo à região de interesse, os dados referentes às reflexões também são registrados no mesmo nível que foi dado o tiro, reduzindo a influência de toda a formação geológica acima de tal região, obtendo-se assim dados muito mais limpos e precisos. Entretanto a migração, associada à técnica CFP, para a obtenção de dados em profundidade não é muito trivial, requerendo um grande controle da técnica de modelagem e migração. Neste trabalho serão apresentados resultados do uso da técnica de extrapolação do campo de onda associado à técnica CFP e também os resultados obtidos com algoritmos computacionais desenvolvidos em FORTRAN utilizando o método das diferenças finitas para a discretização da equação da onda para meios acústicos. Para uma primeira análise utilizamos um modelo sintético de velocidade de camadas paralelas, para uma análise mais complexa, o modelo de velocidade utilizado foi o MARMOUSI, que é baseado na geologia offshore da bacia de Cuanza em Angola.

Palavra-chave: Common Focus Point (CFP), Operador de Síntese, Supersismograma.

1 - INTRODUÇÃO

A modelagem computacional é uma ferramenta extremamente útil na exploração geofísica de reservas de óleo e gás. Um poço exploratório no mar pode custar dezenas de milhões de dólares. Por isso, a integração de várias áreas de conhecimento, como a geologia, geofísica, engenharia, etc., se torna necessária para o melhor entendimento das estruturas geológicas em subsuperfície. Uma destas áreas de conhecimento é a modelagem sísmica.

Quanto mais complexa for a área de estudo, maior é a importância do uso da simulação do levantamento sísmico. Toda a parametrização de um levantamento pode ser obtida com a utilização de dados sintéticos. Parâmetros como o intervalo de aquisição, a taxa de amostragem, o número de traços necessários para o levantamento, dentre outros, podem ser fornecidos para equipe sísmica através da simulação computacional.

As grandes companhias de petróleo no mundo enfrentam o desafio de encontrar reservas de hidrocarbonetos em estruturas geológicas cada vez mais complexas. Muitas técnicas de imageamento sísmico têm sido desenvolvidas com este objetivo, principalmente quando tratamos de resolução abaixo de domos salinos. No entanto, o grande volume de dados gerados neste tipo de aquisição obriga a indústria a utilizar não a técnica que fornece a melhor resolução e sim a que é computacionalmente viável. Neste momento, os centros de pesquisas assumem um papel de extrema importância: o desenvolvimento de tecnologias que tornem as técnicas de imageamento cada vez mais

precisas e aplicáveis ao grande volume de dados gerados na exploração petrolífera.

2 - EQUAÇÃO DA ONDA.

O imageamento sísmico se faz, basicamente, com a propagação de ondas através das camadas geológicas no interior da terra. Essas ondas ao encontrarem a superfície de separação de dois meios cujas impedâncias acústicas são diferentes, sofrem reflexões e refrações. As reflexões nas camadas geológicas são registradas na superfície, esse registro (sismograma) será o principal dado de entrada para a etapa do processamento sísmico. Para a discretização da equação da onda, utilizamos o método das diferenças finitas (MDF) com precisão de quarta ordem nas derivadas espaciais e segunda ordem nas derivadas temporais.

O método das diferenças finitas é um dos mais utilizados entre os vários métodos de aproximação disponíveis para solução dos problemas de valores de contorno. Neste método utiliza-se uma malha regular com espaçamento tão estreito quanto mais complexa for a área a ser investigada.

A modelagem 2D tem se tornado uma alternativa viável dado aos avanços computacionais que hoje encontramos na indústria da informática. Mesmo os computadores domésticos têm sido capazes de processar a enorme quantidade de dados oriunda de um levantamento sísmico, sendo largamente usada como ferramenta auxiliar na interpretação de dados de campo. Neste trabalho, todas as simulações foram realizadas em um PC SUN Opteron AMD64 com velocidade de processamento de 3,8GHz e 4MB de RAM.

Foi introduzida uma malha uniforme subdividindo-se os eixos x e z em espaços regulares Δx e Δz , respectivamente. Com isso, as coordenadas de um ponto genérico $P(x,z)$ podem ser expressas de uma maneira discretizada como sendo:

$$\begin{aligned} x &= i\Delta x, \quad i = 1, 2, 3, \dots, Nx. \\ z &= k\Delta z, \quad k = 1, 2, 3, \dots, Nz. \end{aligned} \quad (1)$$

Cada ponto da malha pode ser visualizado como representando o centro de uma pequena célula retangular com seus contornos compartilhados com as células vizinhas que a circundam. Desta forma definimos o modelo como sendo um conjunto de pontos discretos.

Inicialmente considera-se que o campo de onda no tempo $t=0$ é zero para todos os pontos da malha. Então, certa quantidade de energia controlada é introduzida em uma posição específica em intervalos uniformes Δt , que representa a fonte de sinal sísmico, e acompanha-se a evolução do campo de onda para sucessivos intervalos de tempo $t = \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$. É conveniente expressar estes intervalos de tempo em função de $n, n+1, n+2, \dots$, onde $n=0$ corresponde a $t=0$. Neste caso, a propagação de energia dentro da Terra é governada pela equação da onda:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - \frac{1}{V^2(x,z)} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = f(t)\delta(\vec{r} - \vec{r}_f), \quad (2)$$

onde U representa o campo de onda que varia em função de x, z e t , $V(x,z)$ é a velocidade do meio e

$f(t)$ representa a fonte dependente do tempo que está localizada na posição $(\vec{r} = \vec{r}_f)$. Introduzindo os índices citados anteriormente i, k e n , teremos:

$$\left. \begin{aligned} U(x,z,t) &= U_{i,k}^n \\ f(t) &= f_n \end{aligned} \right\} n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Desta forma, $U(x,z,t)$ representa o valor do campo de onda em uma posição (i,k) da malha em um tempo n . As condições iniciais são:

$$\left. \begin{aligned} U_{i,k}^0 &= 0 \\ \left(\frac{\partial U}{\partial t}\right)_{i,k}^0 &= 0 \end{aligned} \right\} 1 \leq i \leq Nx, 1 \leq k \leq Nz. \quad (4)$$

2.1 - Discretização da Equação da Onda.

Usando os procedimentos convencionais baseados nas séries de Taylor descritos na literatura, pelo método

das diferenças finitas, aproximaremos a equação da onda com precisão de quarta ordem para as derivadas parciais no espaço e segunda ordem para as derivadas temporais. Portanto, a equação da onda discretizada fica:

$$U_{i,k}^{n+1} = -\frac{1}{12} \{ (V_{i,k} \Delta t / \Delta x)^2 [U_{i-2,k}^n - 16(U_{i-1,k}^n + U_{i+1,j,k}^n) + 30U_{i,k}^n + U_{i+2,k}^n] + (V_{i,k} \Delta t / \Delta z)^2 [U_{i,k-2}^n - 16(U_{i,k-1}^n + U_{i,k+1}^n) + 30U_{i,k}^n + U_{i,k+2}^n] \} + 2U_{i,k}^n - U_{i,k}^{n-1} + f^n \delta(r - r_f). \quad (5)$$

Utilizando-se malhas regulares, isto é, $\Delta x = \Delta z = h$, obteremos uma simplificação da Equação (5) :

$$U_{i,k}^{n+1} = a_{i,k} \{ [U_{i-2,k}^n - 16(U_{i-1,k}^n + U_{i+1,j,k}^n) + 30U_{i,k}^n + U_{i+2,k}^n] + [U_{i,k-2}^n - 16(U_{i,k-1}^n + U_{i,k+1}^n) + 30U_{i,k}^n + U_{i,k+2}^n] \} + 2U_{i,k}^n - U_{i,k}^{n-1} + f^n \delta(r - r_f). \quad (6)$$

Este é o operador acústico da equação da onda para duas dimensões com malha uniforme (h), onde $a_{i,k} = -\left(\frac{V_{i,k} \Delta t}{h}\right)^2 / 12$. O valor do campo no presente, iteração n , é representado por $U_{i,k}^n$, no tempo anterior, iteração $n-1$, $U_{i,k}^{n-1}$, e no tempo posterior, iteração $n+1$, $U_{i,k}^{n+1}$.

2.2 - Dispersão e Estabilidade Numérica.

As dimensões da malha são de importância vital para o método das diferenças finitas. Considera-se que a função velocidade $V_{i,k}$ é discretizada dentro de um valor médio para cada intervalo da malha. Esta hipótese é válida desde que os espaçamentos da malha sejam pequenos comparados com o comprimento de onda da propagação.

Uma relação entre a menor velocidade utilizada no modelo ($V_{\min}$) e a frequência máxima (f) limita o máximo valor do espaçamento da malha de forma a não se ter excessiva dispersão de energia (Mufti, 1990), lembrando que neste trabalho utilizamos $h = \Delta x = \Delta z$:

$$h = \frac{V_{\min}}{k f}, \quad (7)$$

onde k representa o número máximo de amostras por comprimento de onda correspondente à frequência máxima. O valor ótimo encontrado de maneira empírica para este número é 5.

Outro problema muito importante que deve ser considerado é a estabilidade numérica. Da mesma maneira foi desenvolvida uma relação para controle dos valores dos intervalos do tempo de amostragem para se evitar que o sistema se torne numericamente instável:

$$\Delta t = \frac{h}{\mu V_{\max}}, \quad (8)$$

onde $V_{\max}$ é a maior velocidade adotada no modelo e μ é uma constante definida da mesma forma que na dispersão da malha [mufti90]. O melhor valor encontrado para esta constante é 5.

2.3 - Bordas Não Reflexivas

A modelagem numérica é uma ferramenta bastante útil quando se trata de simular o comportamento do campo de onda no interior da Terra. No entanto, um fator que limita esta aplicação é a relação entre as dimensões do modelo e o custo computacional para gerar os resultados esperados. A Terra é heterogênea e contínua, porém nós escolhemos simular registros sísmicos com duração finita da propagação do campo de onda. Desta forma, o modelo deve ser dimensionado de maneira que a propagação da onda não encontre, nas bordas que o limita, uma interface de

reflexão. Para isto utilizamos um conceito já bastante utilizado na modelagem numérica que são as bordas não reflexivas proposta por Reynolds, 1978 e ainda, implementamos uma região de atenuação numérica que chamamos de zona de amortecimento proposta por Cerjan, 1985.

2.4 - Fonte

Para se gerar sinais sísmicos é necessário uma função fonte. Nesta seção desenvolveremos o conceito de limite frequência aplicado a uma função que simula o sinal gerado em uma fonte sísmica. Uma fonte sísmica real usa a energia gerada por fontes de impulsos ou vibratória. No levantamento terrestre esta energia é comumente gerada por dinamites ou por caminhões vibradores que transmitem à Terra pulsos nas direções verticais e horizontais. No caso marítimo, usa-se geralmente canhões de ar comprimido. O método que utilizamos em nossas simulações de exploração sísmica é o de uma fonte impulsiva gerada através da segunda derivada da gaussiana (Cunha, 1997):

$$f(t) = \left[1 - 2\pi(\pi f_c t)^2 \right] e^{-\pi(\pi f_c t)^2}. \quad (9)$$

Propositalmente, para que haja somente valores positivos da variável t , podemos discretizar a função acima fazendo $t = (n-1)\Delta t - TF$, onde n é o passo de tempo do programa, Δt é o incremento temporal e TF é o período da função Gaussiana dada pela equação:

$$TF = \frac{2\sqrt{\pi}}{f_{corte}}. \quad (10)$$

A equação que controla a frequência de corte é:

$$f_{corte} = 3\sqrt{\pi} f_c. \quad (11)$$

Onde f_c é a frequência central da fonte.

A Figura 1 mostra um exemplo da função fonte no domínio do tempo para uma frequência de corte de 60 Hz.

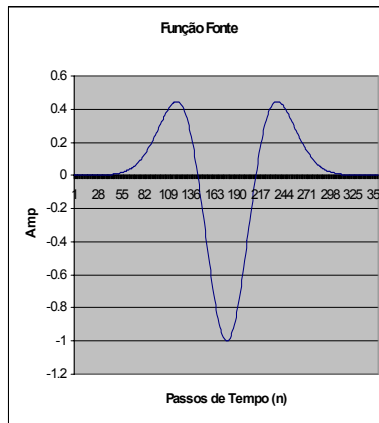


Figura 1. Gráfico da função fonte utilizada na modelagem (Derivada segunda da gaussiana).

3 - MIGRAÇÃO RTM.

A maioria dos métodos de migração usados em sísmica é de algum modo oriunda da equação da onda e se dividem basicamente em duas etapas: a extrapolação do campo de onda e a construção da imagem. O que difere um do outro é a forma como ele é implementado.

O método de Migração Reversa no Tempo, ou Reverse Time Migration – RTM, pode ser resumido como um problema de condição de contorno associado a uma condição de imagem. A condição de contorno é o registro do campo de onda feito pelos geofones ou hidrofones, o sismograma, e a condição de imagem é realizada fazendo uso dos chamados tempos de transito da onda direta (TD).

O sismograma registrado na superfície é reinjetado no modelo como uma fonte sísmica, a partir do tempo final de registro (T_{FINAL}) até o tempo inicial de registro (T_0), ou seja uma retropropagação, extrapolando assim o campo de onda em profundidade. A formação da imagem (determinação ou posicionamento correto dos refletores) é realizada utilizando a coincidência entre os campos de onda ascendentes (campo registrado pelos detectores) e descendentes (matriz tempo de trânsito). Quando esses tempos coincidem numa dada posição (x,z), se estabelece a condição de imagem e o campo de onda naquela posição é declarado como pertencente a matriz migração.

De forma simplificada, o algoritmo de obtenção dos tempos de trânsito é:

Para t variando de zero a T_{final}
Propague $u(x,z,t)$
Se
 $|u(x,z,t)| > |u(x,z,t - \Delta t)|$
Então
 $u_{máx}(x,z) \leftarrow |u(x,z,t)|$
 $TD(x,z) \leftarrow t$
Fim do loop Se
Fim do loop Para

Como mostrado na Figura 2, a extrapolação do dado em profundidade é realizada retropropagando-se o sismograma no modelo, como uma fonte sísmica em cada estação receptora, sendo cada traço injetado na respectiva estação receptora que o registrou.

Matematicamente, tem-se para um único tiro na superfície ($z_{OBS}=0$) que:

$$\nabla^2 u(x,z,t) - \frac{1}{v^2(x,z)} \frac{\partial^2 u(x,z,t)}{\partial t^2} = sis(x,z=0,t;x_i) \quad (12)$$

onde $sis(x, z=z_{obs}, t; x_i)$ é o sismograma, $(x_i, z=z_{obs})$ é a posição da i-ésima estação receptora na qual será injetado o i-ésimo traço, $v(x,z)$, é a velocidade e $u(x, z, t)$ é campo de onda na posição (x, z).

A imagem final é dada quando se estabelece a condição de imagem, fazendo uso da matriz tempo de transito $TD(x,z)$:

$$mig(x, z) = u(x, z, t=TD(x,z)) \quad (13)$$

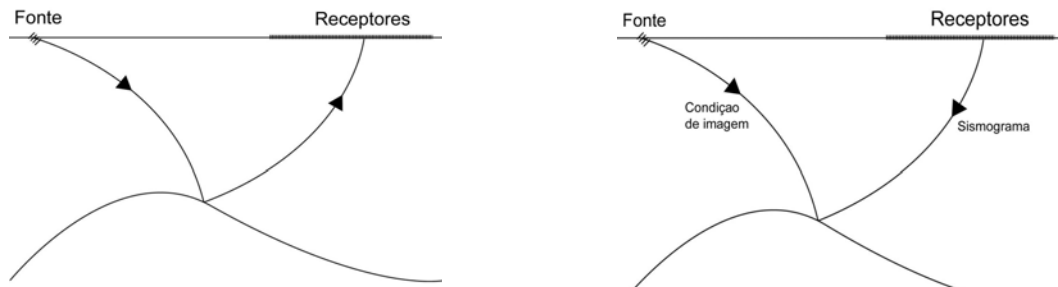


Figura 2. Reflexão na interface de camadas com diferentes velocidades sísmicas e o posterior registro nas estações receptoras. Retropropagação do sismograma confrontado-o com os tempos da onda direta $TD(x,y)$, estabelecendo-se assim a condição de imagem. (retirada de Silva, 2001).

4- COMMON FOCUS POINT (CFP).

A técnica CFP se faz bastante útil quando se deseja minimizar a influência no dado sísmico de topografias irregulares próximas à superfície ou próximas a região de interesse. Essa técnica baseia-se na obtenção de um operador de síntese a partir de um ponto ou conjunto de pontos, próximo ao reservatório que se deseja imagear. Baseado no princípio da reciprocidade podemos afirmar que quando esse operador é convolvido com o sismograma de campo e retropropagado ou reinjetado no modelo, essa energia colapsará no ponto focal escolhido, gerando assim uma nova frente de onda. Tal frente de onda se propagará ao longo do modelo dando origem às reflexões e refrações nas camadas geológicas subjacentes que serão registradas na superfície. Após esse registro esses dados são extrapolados para o datum de interesse.

Com essa técnica, a influência das estruturas geológicas superiores é minimizada, conseguindo assim imagear regiões abaixo de geologias muito complexas com uma maior riqueza de detalhes.

4.1- Metodologia

Denotando por $sis(x, z_{obs}, t; f_n)$ o sismograma deconvolvido da assinatura da fonte relativo a detonação na posição $f_n(x, z)$ e $SIS(x, z_{obs}, t; p)$ o supersismograma dado pelo somatório de convoluções (Bekhout, 1992):

$$SIS(x, z_{obs}, t; p) = \sum_{i=1}^{N_s} \gamma_i(t) * sis(x, z_{obs}, t), \quad (14)$$

onde $\gamma_i(t)$ é o operador de síntese dado pelo registro, na superfície de observação (posição dos receptores), da propagação ascendente do campo de onda gerado em subsuperfície, nas proximidades da área de interesse.

A metodologia para realização da extrapolação do campo de onda utilizando a técnica CFP pode ser descrita como:

- o Dados de entrada: sismogramas de campo.

$$sis(x, z_{obs}, t; f_n),$$

onde, $n = 1, \dots, N_f$, é a quantidade de fontes;

- o Deconvolução da assinatura da fonte;
- o Escolha do ponto ou área (Z_i) próxima a região de interesse que dará origem ao operador de síntese CFP $\gamma_i(t)$;
- o Geração do operador de síntese;
- o Convolução do operador de síntese com os sismogramas de campo conforme equação gerando o *supersismograma* para o ponto escolhido;
- o Propagação descendente do supersismograma e registro de um novo sismograma no datum do ponto ou área onde foi gerado o operador de síntese;

5- RESULTADOS

Para o modelo de velocidade 2D da Figura 3 foi realizada a extrapolação do campo de onda registrado na superfície através da técnica CFP. Foi escolhido o ponto de profundidade $z=250$ no meio do modelo para geração do operador de síntese mostrado na Figura 5. A geração da família CFP foi realizada utilizando-se este operador. O resultado da extrapolação do campo de onda para o novo datum ($z=250$) é apresentado na Figura 6. A migração RTM deste novo sismograma é apresentada na Figura 7.

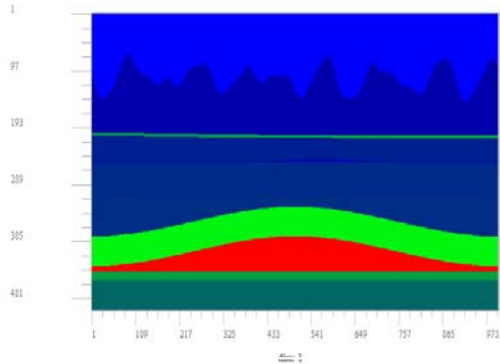


Figura 3. Campo de velocidade sintético de 1000x500 pontos representando uma topografia complexa e um reservatório.

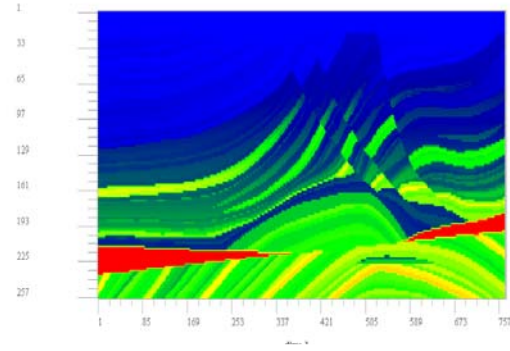


Figura 4. Campo de velocidades Marmousi 767x258 pontos.

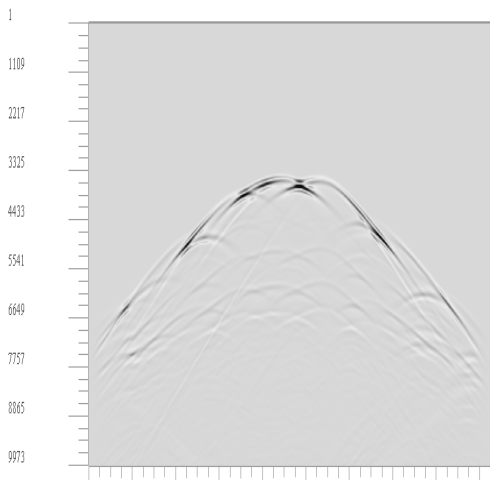


Figura 5. Operador de síntese referente a um tiro no meio do campo de velocidades da Figura 3.

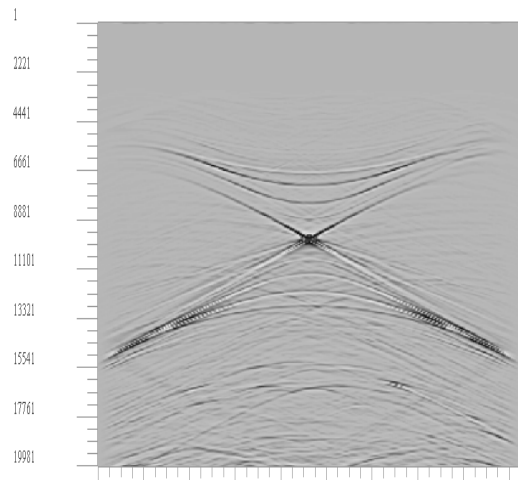


Figura 6. Sismograma obtido após a reinjeção, na superfície, do operador de síntese da Figura 5.

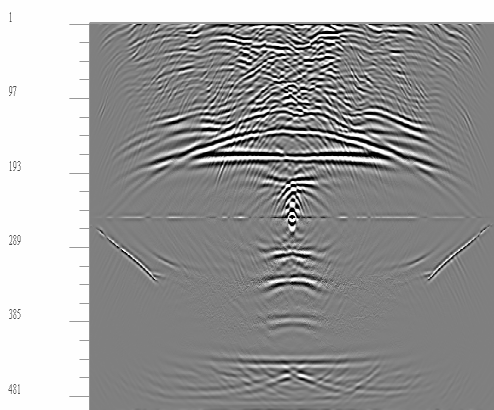


Figura 7. Seção migrada referente a um tiro no meio do modelo da Figura 3.

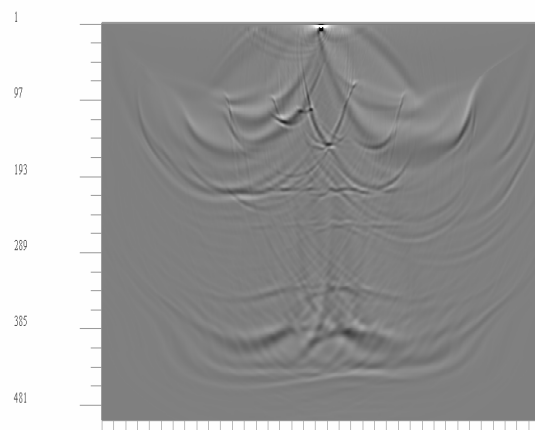


Figura 8. Seção migrada referente a um tiro na superfície do modelo da Figura 3.

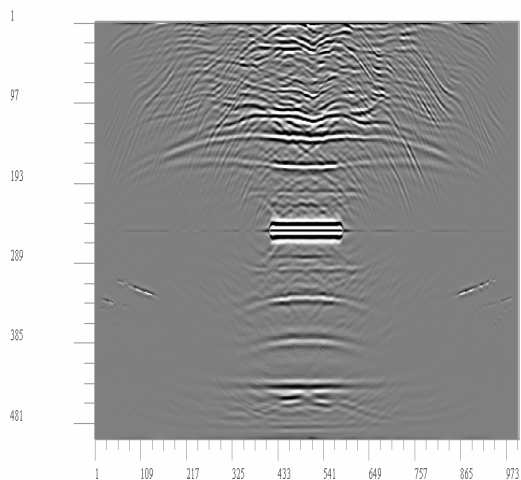


Figura 9. Seção migrada referente a 40 tiros no meio do modelo da Figura 3.

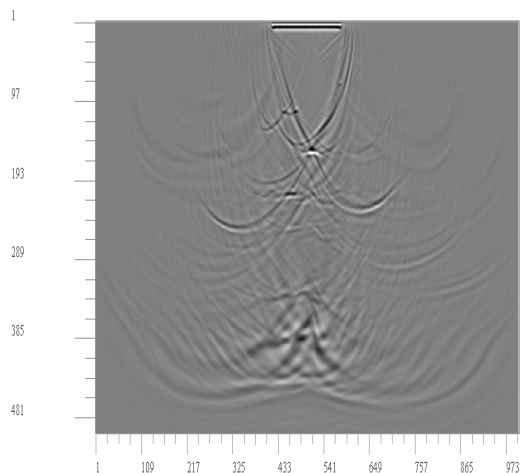


Figura 10. Seção migrada referente a 40 tiros na superfície do modelo da Figura 3.

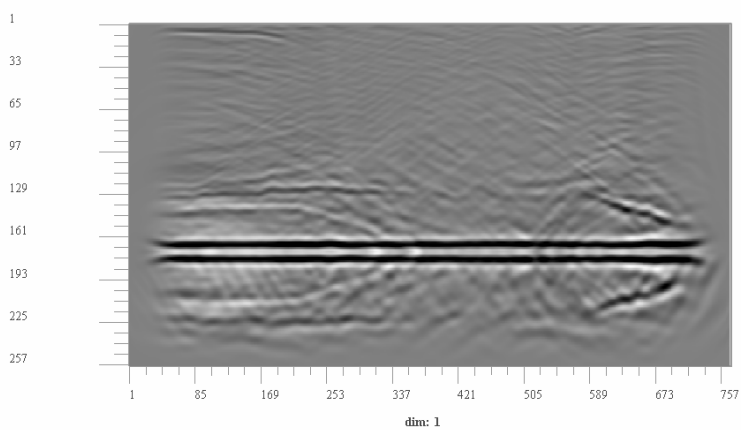


Figura 11. Seção migrada referente a aplicação da técnica CFP para o modelo Marmousi. A profundidade focal escolhida foi a posição $z=172$.

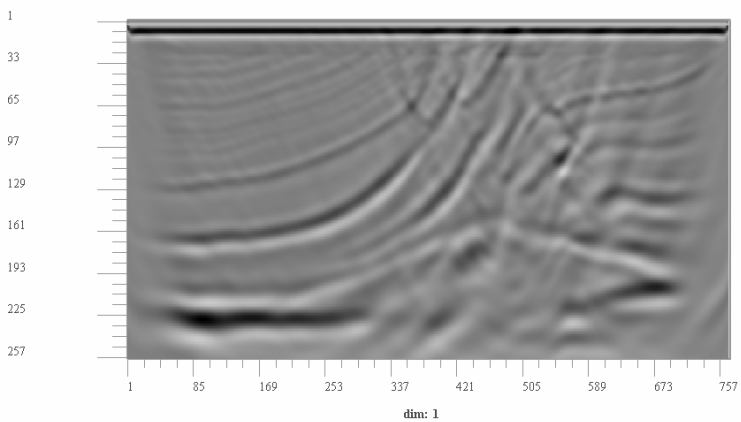


Figura 12. seção migrada referente a 767 tiros na superfície do modelo Marmousi.

6- CONCLUSÃO

A técnica CFP se mostra bastante eficaz no que diz respeito ao imageamento abaixo de topografias complexas, que na prática é bastante comum. Comparando-se as Figuras 7 e 8, pode-se observar como os refletores abaixo do ponto focal puderam ser melhor imageados com o uso da técnica CFP. As Figuras 9 e 10 também apresentam a comparação do imageamento feito com o uso da técnica CFP e o imageamento convencional, porém com 40 pontos focais e 40 pontos de tiros na superfície, respectivamente. Com relação à modelagem tradicional, (tiro e receptores na superfície) regiões que antes mostravam dados sísmicos com pouca informação, com a técnica CFP essas regiões puderam ser imageadas com uma boa riqueza de detalhes, se mostrando, nesse caso, mais eficaz que a modelagem com tiro e receptor na superfície. Contudo, para campos de velocidades muito complexos, o algoritmo que usamos para aplicação da técnica CFP precisa ser ainda aperfeiçoado pois para modelos de velocidades com muitas camadas enclinadas, os resultados não foram tão bons quanto com modelos cujas camadas eram bem comportadas.

7- AGRADECIMENTOS

Agradecemos a COPPE/UFRJ, por proporcionar condições à realização desse trabalho, a PETROBRAS pela parceria e colaboração e a toda equipe do LAB2M pelas discussões que engrandeceram o conteúdo do trabalho.

8- REFERÊNCIAS

BERKHOUT, A.J., 1997, Pushing the limits of seismic imaging, Part I + II, *Geophysics*, **62**, no. 3, 937-969.

BERKHOUT, A.J. 1992, Areal shot record technology , *J. Seis. Expl.*, **1**, no. 2, 251-264.

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 - CPGG/UFBA.

SILVA, J. J., 2002, “Migração Reversa no Tempo: Resolução em Levantamentos Sísmicos Interpoços”, *Dissertação de Mestrado*, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil

REYNOLDS, A. C., 1978, "Boundary Conditions For the Numerical Solution of Wave Propagation Problems", *Geophysics*, **43**, 1099-1110.

CERJAN, C., KOSLOFF, D., KOSLOFF, R., and RESHEF, M., 1985, "A Nonreflecting Boundary Condition For Discrete Acoustic and Elastic Wave Equation", *Geophysics*, **50**, 705-708.

MUFTI, I. R., 1990, "Large-Scale Three-Dimensional Seismic Models and Their Interpretive Significance", *Geophysics*, **55**:1166-1182.

SEISMIC EXTRAPOLATION AND IMAGING IN COMPLEXES MEDIA ASSOCIATED TO CFP TECHNIQUE.

The seismic imaging, through the propagation of waves, has been one of the most used techniques for attainment information about the geologic formation in subsurface. In addition, to image regions below very complex geologic formations is a challenge for the researchers of the area, therefore such complexity influences determinatively in the gotten results, being, therefore, very difficult to image these regions. The modeling technique CFP (Common Focus Point) has shown sufficiently useful in the direction to minimize or to reduce the influence of these complex regions in the data of real interest. In CFP technique, a shot next to the interest region, is simulated computationally, the referring data to the reflections are also registered in the same level that was given the shot, reducing the influence of all the geologic formation above such region, getting like this much more clean and accurate data. However the migration, associated with CFP technique, to attainment data in depth is not very trivial, requiring a great control of the modeling and migration technique. In this work we are going to present results of the

wave field extrapolation associated to CFP technique and also the results gotten with computational algorithms developed in FORTRAN using the finite differences method for the wave equation discretization in acoustic media. For a first analysis we use a synthetic velocity model of parallel layers, for a more complex analysis, the used velocity model was the MARMOUSI, that is based on offshore geology of the basin of Cuanza in Angola.

Keywords: Common Focus Point (CFP), synthesis operator, Supersismogram.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.