

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

UMA ESTRATÉGIA DE COMBINAÇÃO DO DE FILTRAGEM MULTICANAL DE WIENER-LEVINSON COM O MÉTODO CRS DE EMPILHAMENTO DE DADOS PARA ATENUAÇÃO DE REFLEXÕES MÚLTIPLAS

Rosângela Maciel¹, Milton Porsani², German Garabito³

¹ CPGG/UFBA, Rua Barão de Geremoabo, s/n. Campus Universitário Federação – Instituto de Geociências, rcmc@cpgg.ufba.

² CPGG/UFBA, Rua Barão de Geremoabo, s/n. Campus Universitário Federação – Instituto de Geociências, porsani@cpgg.ufba.br

³ CPGF/UFPA, Rua Augusto Corrêa, s/n. Campus Universitário do Guamá – Instituto de Geociências, german@ufpa.br

Resumo – Neste trabalho, motivados pela busca de novas tecnologias capazes de produzir seções sísmicas de maior qualidade, aplicamos a deconvolução Wiener-Levinson (WL) multicanal em dados no domínio CRS combinando as duas técnicas. Numa primeira etapa o filtro foi aplicado na seção afastamento nulo (AN) obtida através do método de empilhamento CRS (Common Reflection Surface Stack). Este método é recente e se destaca quando comparado aos métodos tradicionais de empilhamento (DMO/NMO), por não necessitar de informações a priori do modelo de velocidades, já que o operador CRS é definido a partir da velocidade próxima à superfície (v_0) e do trio de parâmetros das frentes de ondas hipotéticas β_0 , R_{NIP} e R_N , ângulo de emergência do raio normal, raio de curvatura da onda ponto de incidência normal (onda NIP) e raio de curvatura da onda normal (onda N), respectivamente. Parâmetros estes que são calculados diretamente sobre os dados multicobertura. Os resultados obtidos foram satisfatórios e bastante promissores.

Na etapa atual do trabalho estamos introduzindo a correção de NMO utilizando a velocidade de empilhamento calculada em função do trio de parâmetros obtidos através do método CRS, com objetivo de gerar seções de afastamento comum para aplicar o filtro.

Palavras-Chave: sísmica de reflexão; reflexões múltiplas; deconvolução; empilhamento sísmico

Abstract – The removal or attenuation of multiple reflections represents a problem for seismic data processing. Such multiple reflections interfere with the primary ones and may generate large difficulties to the interpreter and to the seismic migration methods. The Wiener-Levinson (WL) predictive deconvolution is a technique which has been in use for quite some time in the attenuation of multiples, having its application limited to a periodical occurrence of the event. This work shows some partial results related to the use of the WL multichannel predictive deconvolution, combined with the method of zero-offset generation section through the stacking of the common reflection surface (CRS). The CRS method is very recent and it shows itself as a good alternative when compared to the traditional stacking methods (DMO/NMO). It does not require prior information on the velocity model. In the present stage of the work we are introducing NMO correction by using the stacking velocity calculated in function of the parameters trio obtained through the CRS method with the objective of generating common off-set sections to apply the filter. The obtained results were satisfactory and quite promising.

Keywords: seismic reflection; multiple reflections; deconvolution; seismic staking

1. Introdução

A exploração sísmica de petróleo e gás envolve uma gama de investigações na busca de reservatórios economicamente produtivos. Neste processo estão envolvidos geofísicos, geólogos e engenheiros de reservatório. Geofísicos, em particular, estão envolvidos na localização de possíveis reservatórios, tendo como principal objetivo mapear a subsuperfície terrestre, de forma a obter a localização de estruturas geológicas capazes de armazenar hidrocarbonetos.

A deconvolução do pulso sísmico e de reflexões múltiplas são etapas importantes dentro do processamento sísmico. A deconvolução do pulso sísmico objetiva aumentar a resolução temporal dos traços, permitindo a melhor identificação das superfícies refletoras em subsuperfície. Já a deconvolução de reflexões múltiplas, a chamada deconvolução preditiva, visa prever e atenuar eventos periódicos contidos num sismograma, tais como múltiplas do fundo do mar. A deconvolução preditiva é um método estatístico que utiliza o processo de filtragem de Wiener-Levinson baseando-se na periodicidade das múltiplas.

O método de empilhamento sísmico por superfície de reflexão comum (Common Reflection Surface - CRS), é utilizado na simulação de seções AN através do empilhamento de dados sísmicos segundo uma superfície calculada diretamente sobre os dados multicobertura, através de processos de busca utilizando análise de coerência.

Objetivando obter seções sísmicas livres da influência ruidosa das reflexões múltiplas e conseqüentemente mais fáceis de interpretar. Na primeira fase deste trabalho aplicamos o filtro de Wiener-Levinson multicanal na seção AN obtida através do método de empilhamento CRS. O resultados obtidos foram satisfatórios. Numa segunda fase propomos uma estratégia que aplica a correção NMO utilizando a função velocidade calculada através do trio de parâmetros obtidos durante o processamento CRS.

2. O Filtro de Wiener-Levinson (WL) Multicanal

O procedimento para obtenção de filtros WL multicanal utilizando 3 canais e número de coeficientes do filtro por canal igual a 3 é demonstrado a seguir:

Sejam w_t o dado desejado, x_t , y_t e z_t os três traços de entrada, então o dado calculado $\tilde{w}_t$ pode ser representado pela expressão,

$$\tilde{w}(t) = \tilde{h}(t) * x(t) + \tilde{f}(t) * y(t) + \tilde{g}(t) * z(t),$$

onde $\tilde{h}(t)$, $\tilde{f}(t)$ e $\tilde{g}(t)$ são operadores que atuam respectivamente sobre os traços $x(t)$, $y(t)$ e $z(t)$.

Exemplificando para operadores com três coeficientes em cada canal, a expressão anterior pode ser reescrita,

$$\tilde{w}_t = \sum_{k=1}^3 x_{t-k+1} \tilde{h}_k + \sum_{k=1}^3 y_{t-k+1} \tilde{f}_k + \sum_{k=1}^3 z_{t-k+1} \tilde{g}_k. \quad (1)$$

utilizando notação matricial podemos escrever,

$$\mathbf{W} = [\mathbf{X} \quad \mathbf{Y} \quad \mathbf{Z}]$$

$\mathbf{W}$ é uma matriz toeplitz contruída pelas matrizes, também toeplitz, $\mathbf{X}$, $\mathbf{Y}$ e $\mathbf{Z}$ geradas respectivamente pelos traços x_t , y_t e z_t e $\mathbf{a}$ é um vetor formado pelos vetores $\mathbf{h}$, $\mathbf{f}$ e $\mathbf{g}$. Podemos então definir

$$\mathbf{a}^T = [\mathbf{h}^T \quad \mathbf{f}^T \quad \mathbf{g}^T],$$

onde os vetores $\mathbf{h}$, $\mathbf{f}$ e $\mathbf{g}$ são formados respectivamente pelos operadores $\tilde{h}_t$, $\tilde{f}_t$ e $\tilde{g}_t$

Para um vetor $\mathbf{a}$ arbitrário podemos escrever o vetor de erro de predição na forma:

$$\mathbf{e} = \mathbf{x} - \mathbf{W}\mathbf{a}.$$

minimizando a forma quadrática

$$Q(\mathbf{a}) = \mathbf{e}^T \mathbf{e}. \quad (2)$$

Obtendo-se as Equações Normais, cuja solução fornece o filtro preditivo multicanal de WL (Lima,1999; Santos Jr.,2002; Bezerra,2001).

3. O Método de Empilhamento Sísmico Superfície de Reflexão Comum (CRS)

O método de empilhamento sísmico Superfície de Reflexão Comum (CRS - Common Reflection Surface Stack) simula seções de Afastamento Nulo (AN). Trata-se de um método recente de imageamento que se destaca por ser independente do macro-modelo de velocidades, o que não ocorre nos métodos tradicionais (NMO/DMO). Três parâmetros cinemáticos das frentes de ondas hipotéticas e a velocidade próxima a superfície definem a superfície de empilhamento CRS. Estes parâmetros podem ser determinados de forma totalmente automática por meio de procedimentos de busca, envolvendo análise de coerência aplicada aos dados sísmicos (Muller, 1998; Jäger et al., 2001; Mann, 2001; Garabito et al., 2001).

A superfície de empilhamento ou operador CRS é calculada, diretamente sobre os dados multicobertura, a partir da fórmula hiperbólica de tempo de trânsito obtida através da expansão de segunda ordem em série de Taylor. Esta expressão aproxima os tempos de trânsito dos raios na vizinhança de um raio central fixo, e é derivada por meio da teoria paraxial do raio (Schleicher et al., 1993). Tygel et al., (1997) reescreveram a referida expressão em função da velocidade próxima a superfície e do trio de parâmetros das frentes de ondas hipotéticas - onda ponto de incidência normal (onda NIP) e onda normal (onda N), conforme mostrado na expressão abaixo:

$$t^2(x_m, h) = \left(t_0 + 2 \frac{\sin \beta_0}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + 2t_0 \frac{\cos^2 \beta_0}{v_0} \left(\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right). \quad (3)$$

onde t_0 é o tempo duplo do raio central com afastamento fonte-receptor nulo e v_0 a velocidade próxima a superfície entorno do ponto de emergência do raio central. As coordenadas $x_m = (x_G + x_S)/2$ e $h = (x_G - x_S)/2$ são o ponto médio e o afastamento médio entre a fonte e o receptor, respectivamente, sendo x_S e x_G as coordenadas horizontais do par fonte receptor (S,G); β_0 é o ângulo de emergência do raio normal com relação a normal da superfície, R_{NIP} e R_N são, respectivamente, os raios de curvaturas da onda NIP e da onda N, ambos medidos no ponto de emergência do raio central. As ondas ponto de incidência normal (NIP – normal incidence point) e normal (N) são ondas hipotéticas definidas por Hubral (1983).

O operador é aplicado para um ponto arbitrário escolhido na seção AN especificado por $P_0 = (x_0, t_0)$. Dado o ponto P_0 , e então se conhecendo a priori o trio de parâmetros das ondas hipotéticas (β_0 , R_{NIP} e R_N) associadas ao ponto P_0 , pode-se calcular a superfície de empilhamento associada a esse ponto usando a equação 3. Assim a simulação da seção AN pelo método de empilhamento CRS consiste no somatório das amplitudes dos traços sísmicos no espaço (x_m, h, t) na vizinhança de cada ponto P_0 arbitrário fixo, segundo a superfície de empilhamento CRS correspondente à reflexão no ponto R . Esta superfície é traçada somente numa vizinhança paraxial do raio central, sendo limitada por uma abertura em torno do ponto $X_0 = (x_0, h=0)$ no plano (x_m, h) .

O principal problema do método CRS é a determinação de β_0 , R_{NIP} e R_N a qual é formulada como um problema de maximização (ou minimização) da medida semblance avaliada em pontos dentro do espaço de busca definido matematicamente pelos intervalos associados a cada parâmetro: $-\pi/2 < \beta_0 < +\pi/2$ e $-\infty < R_{NIP}, R_N < +\infty$.

A obtenção dos atributos da frente de onda segue a estratégia descrita por Garabito et al., (2001), a qual consta de 2 fases gerais: (1a.) busca dos atributos iniciais por otimização global, como uma primeira estimativa; (2a.) busca dos atributos finais por otimização local, como estimativa final.

Neste trabalho aplicamos no processamento CRS o algoritmo proposto por Garabito et al., (2001), o qual utiliza como método de otimização o “*Simulated Annealing*” para a busca dos parâmetros β_0 e R_{NIP} . E posteriormente a busca do parâmetro, R_N . Para a segunda fase, a solução inicial é o trio de parâmetros resultante da primeira fase, sendo utilizado o algoritmo de otimização local “*quasi-Newton*”.

3.1. Obtenção das Velocidades de Empilhamento CRS

Conforme demonstrado em Garabito et al. (2003) a velocidade de empilhamento pode ser obtida através da equação a seguir:

$$v_{EMP} = \frac{2v_0}{t_0 K_{NIP} \cos^2 \beta_0}. \quad (4)$$

A Figura 1(a) mostra os traços sísmicos de uma seção CMP ($x_m = 7700m$) dos dados Marmousi, sobreposta a linha azul mostra a delimitação introduzida para obter o mapa de coerência (Figura 1b) para um fator de estiramento NMO máximo de 1,5. As velocidades de empilhamento CMP (NMO/DMO) são mostradas na Figura 1b (linha de cor cian) e foram obtidas através de análise de velocidade utilizando um software comercial.

Utilizando a equação (4) e os parâmetros de empilhamento CRS (β_0 e $K_{NIP} = 1/R_{NIP}$) estimados durante a simulação da seção AN são determinadas as velocidades de empilhamento CRS (linha vermelha na Figura 1(b)). Podemos observar uma boa aproximação entre as velocidades de empilhamento (CMP e CRS) diferindo apenas em pontos onde não há eventos sísmicos, os quais são marcados por grandes picos nas velocidades CRS e baixas coerências.

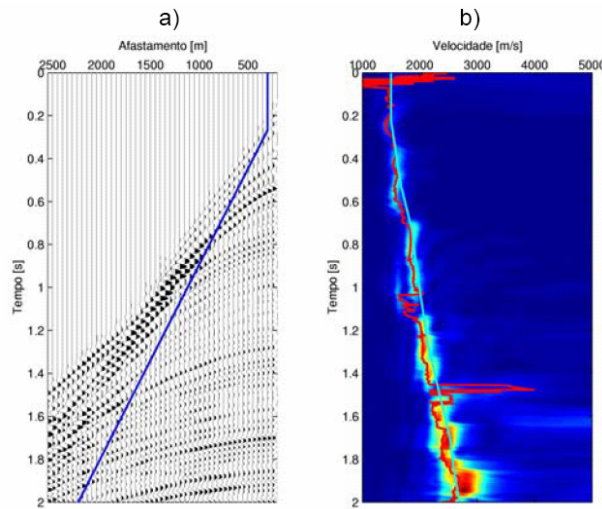


Figura 1. (a) Traços sísmicos da seção CMP 580 dos dados Marmousi, (b) mapa de coerência da seção CMP 580 e as velocidades de empilhamento CRS (linha vermelha) e CMP (cor cian) (apresentada por Garabito *et al* 2003).

Garabito et al. (2003) demonstra ainda que a correção NMO dentro da formulação de empilhamento CRS não afeta o pulso sísmico, pois a frequência instantânea do pulso sísmico permanece inalterada antes e depois da aplicação da correção NMO. O que não ocorre na formulação CMP onde acontece o efeito de estiramento do pulso.

Deve-se observar ainda que apesar do bom desempenho da correção NMO conforme a formulação CRS ocorrem distorções nos eventos com afastamentos longos, pois quanto mais afastado o evento estiver do raio central função empilhamento CRS perder a precisão.

Diante dos resultados obtidos por Garabito et al. (2003) introduzimos a correção NMO dentro do processo de integração dos métodos de W-L e CRS. Surgindo assim a idéia de aplicar o filtro W-L em seções afastamento comum corrigidas de NMO, utilizando as velocidades de empilhamento calculadas pela equação (4), livres agora do efeito de estiramento do pulso, resguardadas às devidas limitações do método. Após a aplicação do filtro podemos então remover a correção NMO e empilhar o dado agora com os eventos de reflexões múltiplas atenuados.

Até o momento temos feito testes em dados sintéticos sem a aplicação do filtro, como mostrado na Figura 2, onde observamos uma seção CMP, com a aplicação da correção NMO e após a remoção da correção NMO. Os próximos passos são: aplicarmos o na sequência o filtro W-L em dado sintético e finalmente todo o processo em dado real.

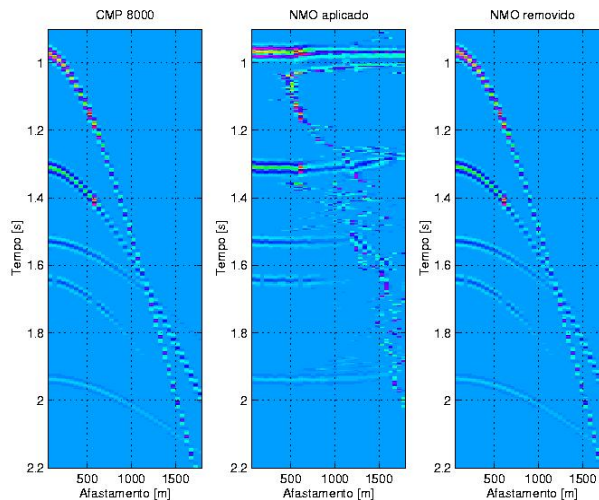


Figura 2. Em (a) Seção CMP original, em (b) Seção CMP após a aplicação da correção NMO e em (c) Seção CMP após remoção da correção de NMO.

4. Aplicação ao Dado do Golfo do México

O dado do Golfo do México se constitui de uma linha sísmica marinha prestack 2-D. Nos dados há presença de múltiplas referentes a reverberação da onda sísmica na lâmina d'água e ainda em subsuperfície uma estrutura salina próxima a superfície. A seção original contendo 2088 CMP's é apresentada na Figura 3(a).

Após o processamento CRS obtivemos uma seção que consta de 489 traços, devido ao intervalo de amostragem em que foram calculados os parâmetros de empilhamento e a subsequente soma dos traços. Esta seção é mostrada na figura 3(b) onde podemos observar uma melhor visualização dos eventos, inclusive dos eventos de reflexão múltipla, isso se deve ao fato de que o método CRS empilha indistintamente eventos primários e múltiplos, o que não acontece nos métodos tradicionais já que estes utilizam estimativas do modelo de velocidades como velocidades no processamento dos dados.

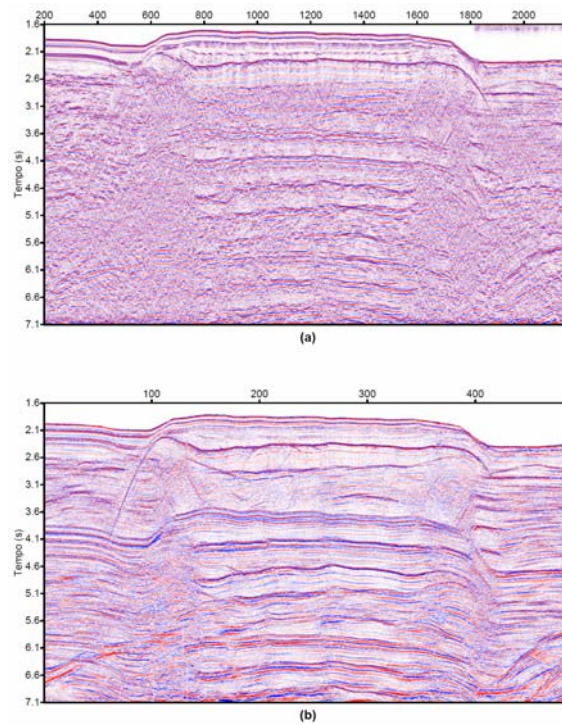


Figura 3. Seção original – em (a) seção empilhada CMP (DMNO/NMO), em (b) Seção empilhada CRS.

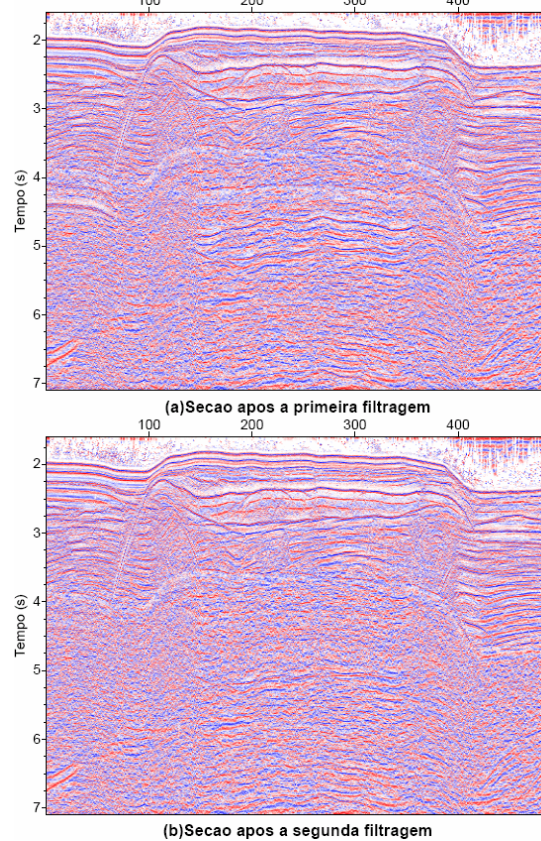


Figura 4. Seções sísmicas, após aplicação do Filtro WL, em (a) objetivando atenuação das múltiplas referentes a reverberação na lâmina d'água e (b) visando atenuação das múltiplas referentes ao topo e a base do sal, observa-se que houve atenuação também de “peg-legs”.

5. Conclusões

O método de deconvolução WL multicanal aplicado ao dado no domínio CRS conseguiu atenuar as reflexões múltiplas referentes a reverberação na lâmina d'água (Figura4(a)) e ao topo e a base do sal (Figura4(b)), agindo também, de forma eficaz sobre “peg-legs”, o que era de se esperar já que na seção AN há periodicidade dos eventos múltiplos, uma das principais premissas para a efetividade do filtro. Os resultados obtidos são promissores e nos motivam a prosseguir os estudos de novas estratégias na combinação das duas técnicas mostradas neste trabalho. Numa segunda etapa buscaremos testar novos métodos de otimização na determinação do trio de parâmetros, e ainda implementar estratégias de integração dos métodos, objetivando aplicar o filtro durante o processamento CRS e explorando os parâmetros obtidos através do método.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a FINEP e PETROBRAS pelo apoio financeiro através do projeto da Rede em Risco Exploratório, RM agradece a ANP pelo suporte financeiro na forma de Bolsa de Estudo e MJP agradece ao CNPQ.

7. Referências

- BEZERRA, A. C. Deconvolução preditiva multicanal utilizando interpolação de traços sísmicos e transformada τ -p , Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 1999. (<http://www.cpgg.ufba.br/>).
- GARABITO, G., CRUZ, J. C., HUBRAL, P., AND COSTA, J. Common reflection surface stack: A new parameter search strategy by global optimization. *71th. SEG Mtg., Expanded Abstracts. San Antonio, Texas, USA*, 2001.
- GARABITO, G., Paschoal, W. G., e Lima, A. W. Comparação dos resultados dos métodos de empilhamentos SRC e CMP (DMO/NMO) aplicados nos dados Marmousi. Resumo expandido. 8º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- HUBRAL, P. Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth, *Geophysics*, v. 48, p. 1051-1062, 1983.
- JÄGER, R., MANN, J., HÖCHT, G., AND HUBRAL, P. Common reflection surface stack: Image and attributes. *Geophysics*, 66:97–109, 2001.
- JAGER, R. The common reflection surface stack: Theory and application, Dissertação de Mestrado, Universidade Karlsruhe, Karlsruhe, Alemanha, 1999.
- LIMA, A. P. Deconvolução de reflexões múltiplas nos domínios t -x e τ -p , Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 1999. (<http://www.cpgg.ufba.br/>).
- LIMA, A. P., Porsani, M. J. Deconvolução preditiva de reflexões múltiplas e peg-legs utilizando filtragem Wiener-Levinson multicanal. *Revista Brasileira de Geofísica*. Rio de Janeiro, v.19, n.3, p.303 - 314, 2003.
- MANN, J. Common-reflection-surface stack and conflicting dips. In *Extended Abstracts, 71th Annual Internat. Mtg., Expl. Geophys*, 2001.
- MELO, P. E. M. Deconvolução iterativa de dados sísmicos utilizando norma L_p , Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 2002. (<http://www.cpgg.ufba.br/>).
- MÜLLER, T. Common reflection surface stack versus nmo/stack and nmo/dmo/stack. *60th Mtg. Eur.Assoc. Expl. Gophys., Extended Abstracts*, 1998.
- MÜLLER, T. The common reflection surface stack method: Seismic imaging without explicit knowledge of velocity model, Tese de Doutorado, Universidade Karlsruhe, Karlsruhe, Alemanha, 1999.
- SANTOS JR., A. Deconvolução multicanal utilizando um algoritmo tipo Wiener-Levinson, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 2002. (<http://www.cpgg.ufba.br/>).
- TYGEL M., MÜLLER, T., HUBRAL, P., SCHLEICHER, J. Eigenwave based multiparameter traveltimes expansions, Expanded Abstract, 67th Annual International Meeting, SEG, p. 1770-1773, 1997.
- SCHLEICHER, J., TYGEL, M., HUBRAL, P. Parabolic and hyperbolic paraxial two points traveltimes in 3D media. *Geophysical Prospecting*, v. 41, p. 495-513, 1993