



Deconvolução de reflexões múltiplas do fundo do mar utilizando um método iterativo multicanal

*Rosângela C. Maciel, Paulo E. M. de Melo e Milton J. Porsani CPGG/UFBA, Brasil.
emails:rcmc;pemm;porsani@cpgg.ufba.br.

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared to presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was received by The Technical Committee of the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

A new iterative least square approach for predictive deconvolution is presented. The method is based on the Lp norm. The prediction errors associated with the deconvolved seismic trace are raised to an exponent factor related to the norm. By using a first order Taylor approximation, a weighted system of equations is formed and solved in the least square sense. The filter coefficients are updated and an iterative approach may be defined. The new method was tested on synthetic data. Also was applied to real marine seismic data of Gulf of Mexico to deconvolve multiples reflections associated with the ocean bottom.

Introdução

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. Reflexões múltiplas representam a energia refletida mais de uma vez pelos refletores em subsuperfície.

A deconvolução preditiva é um método estatístico que convencionalmente utiliza o processo de filtragem de Wiener-Levinson. Considera a periodicidade das múltiplas, a qual é aqui garantida ao aplicarmos ao dado, no domínio CMP, uma correção de MMO (Multiple Moveout)(Lamout et. al.,1999) e organizarmos no domínio do offset-comum, o que diminui também o problema da não estacionariedade (Lima,1999; Santos Jr.,2002;Bezerra,2001). Estes fatos são facilmente constatados quando tratamos com dados marinhos, devido a topografia aproximadamente plana do fundo do mar.

Neste trabalho aplicamos o método de deconvolução iterativa mono e multicanal em dados do Golfo do México objetivando a supressão das múltiplas referentes a reverberação na lâmina d'água, comparando os resultados obtidos com a deconvolução preditiva mono e multicanal de Winner-Levinson.

Filtro de Wiener-Levinson (WL) Multicanal

A seguir ilustramos o procedimento para obtenção de filtros WL multicanal utilizando 3 canais e número de coeficientes do filtro por canal igual a 3. 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 operadores \tilde{h} , \tilde{f} e \tilde{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).

O filtro de Wiener Levinson \mathbf{a} será utilizado para iniciar o método de deconvolução iterativa apresentado a seguir.

Deconvolução Iterativa (DI) Multicanal

De acordo com o procedimento proposto por Porsani et. al. (2001), a função objetivo pode ser definida em termos da norma L_p como descrito a seguir:

$$Q(\mathbf{a}, p) = \sum_{t=0}^{M+N} \left\{ \left[(e_t)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^p, \quad (3)$$

onde e_t representa o vetor

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

e \mathbf{a}_0 é o filtro de Wiener Levinson usado para iniciar o método.

Deixemos:

$$f(\mathbf{a}, p, t) = (e_t)^{\frac{p}{4}}, \quad (4)$$

e expandindo a equação (4) por série de Taylor em torno do modelo corrente \mathbf{a}_k , e tomando a aproximação de primeira ordem, obtém-se:

$$f(\mathbf{a}, p, t) \cong \tilde{f}(\mathbf{a}, p, t) = f(\mathbf{a}_k, p, t) + \frac{p}{2} (e_t^2)^{\frac{p}{4}-1} (e_t) \frac{\partial e_t}{\partial \mathbf{a}} \Big|_{\mathbf{a}_k} (\mathbf{a} - \mathbf{a}_k). \quad (5)$$

A aproximação por série de Taylor faz com que a função $f(\mathbf{a}, p, t)$ que antes era de natureza não linear, se torne agora uma função linear onde:

$$F_{ii} = \frac{p}{2} (e_i^2)^{\frac{p}{4}-1} e_i, \quad (6)$$

$$f_i = (e_i)^{\frac{p}{4}}, \quad (7)$$

e e_i^2 representa a amostra na posição $t = i\Delta t$ do traço deconvolvido com o filtro $(1 \ \mathbf{a}_k^T)$.

A equação (5) pode ser representada de forma mais compacta,

$$\tilde{\mathbf{f}}_{p_k} = \mathbf{f}_{p_k} - \mathbf{F}_{p_k} \mathbf{W}\mathbf{a}. \quad (8)$$

O vetor $\Delta \mathbf{a}$ pode ser calculado de forma a minimizar a forma quadrática,

$$\tilde{Q}(\mathbf{a}, p) = \tilde{\mathbf{f}}_{p_k}^T \tilde{\mathbf{f}}_{p_k}. \quad (9)$$

Derivando com relação aos parâmetros a_j , $j = 1, \dots, N$, obtém-se as equações normais:

$$(\mathbf{W}^T \mathbf{F}_{p_k}^2 \mathbf{W}) \Delta \mathbf{a} = \mathbf{W}^T \mathbf{F}_{p_k} \mathbf{f}_{p_k}. \quad (10)$$

Resolvendo a equação (10) para o vetor $\Delta \mathbf{a}$ podemos atualizar os coeficientes do filtro por:

$$\mathbf{a}_{k+1} = \mathbf{a}_k + \Delta \mathbf{a}. \quad (11)$$

O método iterativo monocanal é obtido considerando no sinal de entrada apenas um traço na equação 1, por exemplo x_t . Na Figura 1 apresentamos um traço sintético (Fig.1-a) e os resultados do método monocanal: WL convencional (Fig.1-b) e do método iterativo (fig. 1-c). Observamos que em dados sintéticos o método iterativo é mais eficaz que o de WL.

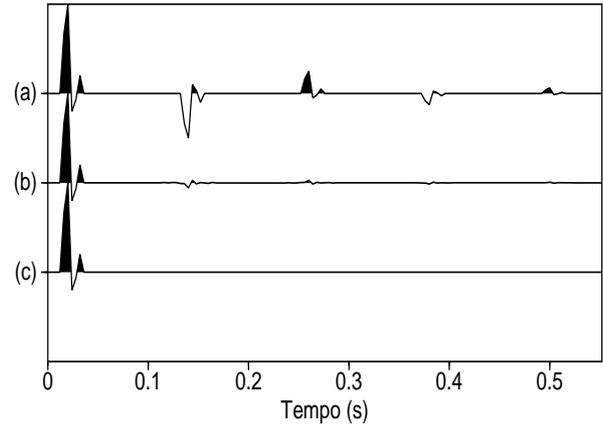


Figura 1: Traço sintético original em (a), após deconvolução WL (b) e deconvolução iterativa (c).

Aplicação ao dado do Golfo do México

O dado do Golfo do México se constitui de uma linha sísmica marinha prestack 2-D em formato **.su** originalmente organizado em coleções de tiro comum no domínio x-t, a qual foi adquirida em região de lâmina d'água em torno de 1500m de profundidade. 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 contendo 2088 CMP's é apresentada na Figura 3. Foi selecionado o trecho entre os CMP's 800 e 1000, contendo 201 famílias CMP's com 90 traços totalizando 18090 traços, para fins de aplicação dos métodos de deconvolução preditiva monocanal e multicanal DI e WL. As etapas de processamento estão descritas no fluxograma mostrado na Figura 2.

Visando o melhor desempenho do processo de filtragem, o que ocorre quando os dados obedecem as premissas de estacionariedade do pulso e periodicidade das múltiplas, a deconvolução das múltiplas é efetuada somente na terceira etapa do processamento.

De forma a garantir a periodicidade das múltiplas, na primeira etapa do processamento é aplicada uma correção de MMO (*multiple moveout*), a qual equivale a correção de NMO (*normal moveout*) utilizando a velocidade da onda sísmica na água (1500m/s). Esta correção visa horizontalizar os eventos de reflexão referentes ao fundo do mar. Já a estacionariedade é obtida com a organização dos dados em painéis de offset-comum, o que é mais efetivamente observado em offsets curtos (Lima, 1999).

Após a organização dos dados no domínio do offset-comum obtivemos uma seção contendo 181 painéis sendo os pares com 99 traços e os ímpares com 100 traços. O processo de deconvolução é aplicado painel a painel e no caso multicanal processa mais de um traço por vez.

Seguindo as etapas do fluxograma (Figura 2) após a deconvolução das múltiplas, utilizando as rotinas do SU (*Seismic Unix*) procedemos: a correção inversa de MMO, em seguida organizamos os dados no domínio do CMP; aplicamos a correção de NMO (utilizando o arquivo de velocidades e tempos (v_{nmo}, t_{nmo}) obtido através da análise de velocidades); e finalmente processamos o empilhamento dos dados gerando a seção empilhada.

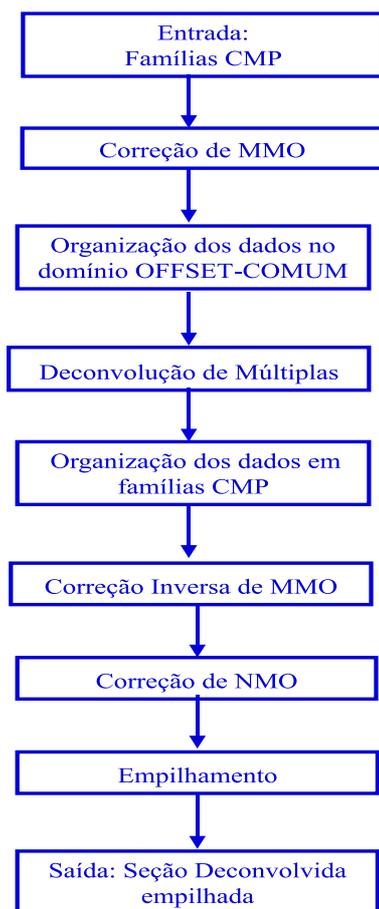


Figura 2: Fluxograma do processamento.

Na Figura 5 comparamos os resultados após aplicação da deconvolução monocanal WL (Fig. 5-a) e DI (Fig.5-b). Na Figura 6 comparamos os resultados após aplicação da deconvolução multicanal para 3 canais de WL (Fig.6-a) e DI (Fig.6-b). Podemos observar a excelente atuação do método iterativo monocanal, o qual forneceu um resultado tão bom quanto o WL multicanal suprimindo as múltiplas em torno de 3,5 s. Estes resultados ilustram a boa atuação da filtragem iterativa.

Conclusões

O método iterativo de deconvolução mono e multicanal conseguiu atenuar satisfatoriamente as reflexões múltiplas referentes a reverberação na lâmina d'água (Fig.5-b) e (Fig. 6-b). Ao compararmos os resultados obtidos mono e multicanal de ambos os métodos aplicados observamos que o método iterativo monocanal apresentou melhores resultados frente aos obtidos através do método de WL mono e multicanal. Salientamos que o método iterativo multicanal não apresentou melhorias significativas diante do resultado monocanal, sendo similar ao de WL multicanal. Os resultados do novo método de reflexões múltiplas são promissores e sugerem seu emprego na atenuação de múltiplas internas.

Agradecimentos

Os Autores agradecem a ANP pelo suporte financeiro na forma de Bolsa de Estudo e MJP agradece ao CNPQ.

Referências Bibliográficas

- Bezerra, A. C.** (1999) Deconvolução preditiva multicanal utilizando interpolação de traços sísmicos e transformada $\tau - p$, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Lamont, M. G., Hartley, B. M. and Uren, N. F.** (1999) Multiple attenuation using the MMO and ISR preconditioning transforms, *The Leading Edge*, 18:110-114.
- Lima, A. P.** (1999) Deconvolução de reflexões múltiplas nos domínios $t - x$ e $\tau - p$, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Melo, P. E. M.** (2002) Deconvolução iterativa de dados sísmicos utilizando norma L_p , Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Melo, P. E. M. e Porsani, M. J.** (2003) Deconvolução de dados GPR utilizando um método iterativo, submetido ao 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.
- Santos Jr., A.** (2002) Deconvolução multicanal utilizando um algoritmo tipo Wiener-Levinson, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

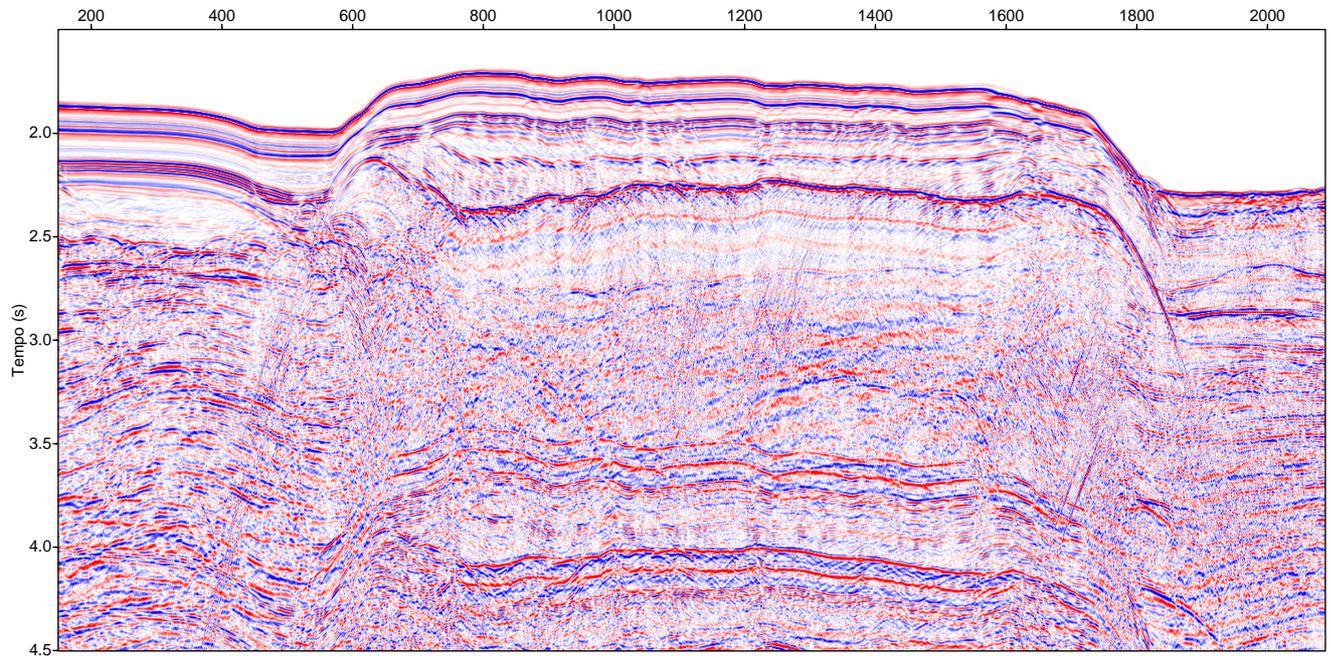


Figura 3: Seção original empilhada dos Dados do Golfo do México contendo 2088 CMP'S

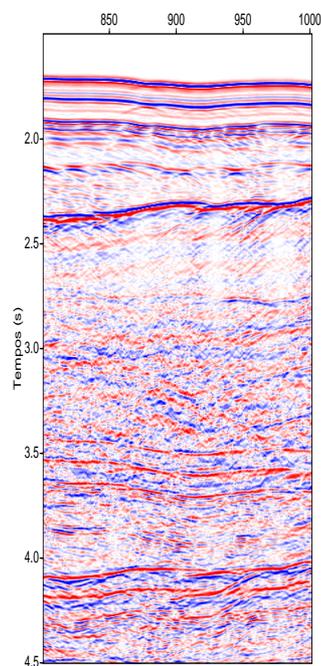


Figura 4: Trecho contendo 201 CMP's selecionados apartir da Seção mostrada na Figura 3 dos Dados do Golfo do México

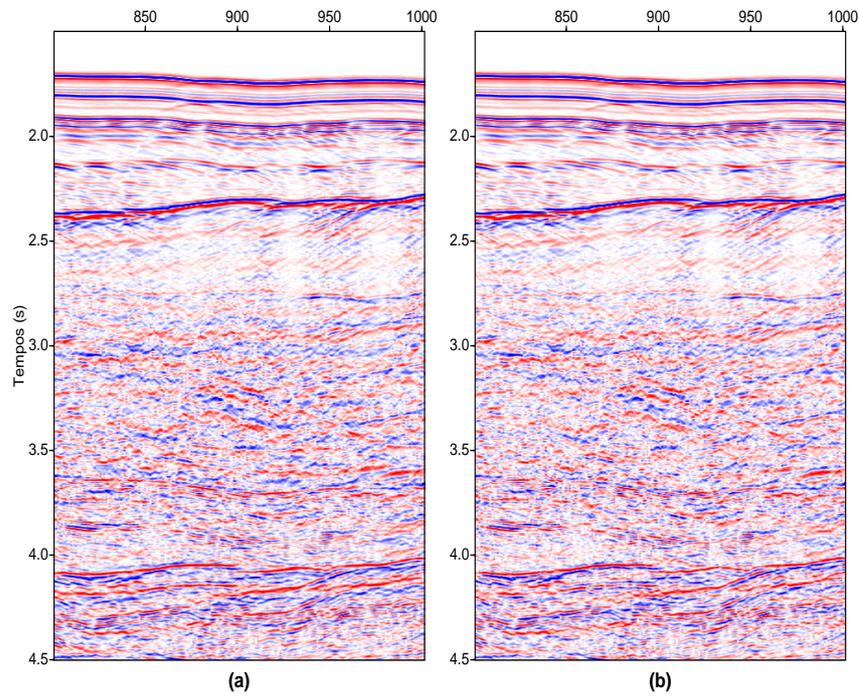


Figura 5: Deconvolução preditiva Monocanal: deconvolucao WL (a) e deconvolucao iterativa (b).

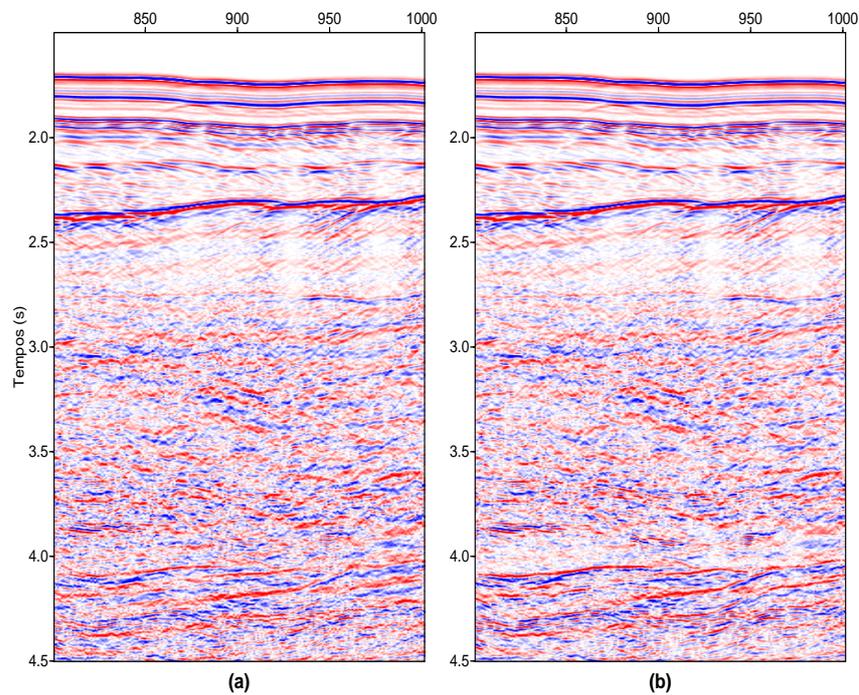


Figura 6: Deconvolução preditiva Multicanal: deconvolucao WL (a) e deconvolucao iterativa (b).