



## Atenuação de reflexões múltiplas com deconvolução multicanal no domínio afastamento comum versus ponto-médio comum em dados sísmicos do Talude continental

Rosângela C. Maciel, Luiz Alberto S. Lima e Milton J. Porsani, Centro de Pesquisa em Geologia e Geofísica (CPGG) - UFBA

Copyright 2008, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica Este texto foi preparado para a apresentação, ao no III Simposio Brasileiro de Geofísica, Belém,

Técnico do III SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução, ao total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização, da SBGF.

### Abstract

The multi-channel Wiener-Levinson predictive deconvolution is a filtering technique, which has been successfully used for the attenuation of multiple reflections of marine seismic data. Normally the filtering is done through the use of traces corrected from the normal move out, and organized in panels of common-offset (CO) or common mid-point (CMP) gathers. In the present paper we apply the direct multi-channel predictive deconvolution method (Porsani and Ursin, 2007) using traces collected from the CO and CMP domains, and located at the neighborhood of each target trace.

Numerical results using data from the Jequitinhonha Basin demonstrate the effectiveness of the new approach for the attenuation of the multiple associated with the sea bottom.

### Introdução

A sísmica de reflexão visa obter informações estruturais e propriedades físicas das rochas em subsuperfície a partir de dados registrados de reflexão das ondas nas interfaces em subsuperfície. Nos dados marinhos a frequente presença de reverberações associadas ao assoalho oceânico é tida como um problema a ser resolvido, pois são ruídos coerentes que mascaram os eventos de interesse.

A deconvolução é uma técnica muito aplicada no processamento de dados sísmicos de reflexão para atenuação de reflexões múltiplas. Trata-se da deconvolução preditiva, a qual visa prever e atenuar eventos periódicos contidos num sismograma, tais como múltiplas do fundo do mar.

A deconvolução preditiva para supressão de múltiplas utiliza o método de filtragem Wiener-Levinson (WL) (Robinson e Treitel, 1980). Algoritmos WL multicanal visando a atenuação de reflexões múltiplas foram aplicados com sucesso por Lima (1999), Bezerra (2001) e Maciel et al. (2003). Mais recentemente foram desenvolvidos algoritmos que na prática efetuam a deconvolução preditiva sem necessitar calcular o filtro (Deconvolução Direta) (Santos, 2002, Porsani e Ursin, 2007). Estes algoritmos na forma

multicanal têm sido aplicados em traços adjacentes pertencentes a uma mesma família, seja no domínio do afastamento comum (CO - Common Offset) ou de ponto médio comum (CMP - Common Mid-point). Neste trabalho aplicamos um operador que atua na área circunvizinha do traço alvo, operando assim com uma redundância maior de informações coletadas agora em ambos os domínios CO e CMP. Esta abordagem pode ser considerada equivalente a deconvolver simultaneamente nos dois domínios e nos sugere um operador mais robusto e que denominamos de Operador de Deconvolução Areal.

A deconvolução preditiva foi aplicada nas seções corrigidas de MMO, que é uma correção de NMO "normal moveout" usando a velocidade da múltipla a qual se deseja suprimir. Esse procedimento garante a preservação da periodicidade dos eventos, que é uma condição necessária à efetividade do filtro. O operador de deconvolução Areal se demonstrou eficaz na atenuação dos eventos de reflexões múltiplas presentes no dado resultando numa seção sísmica empilhada de melhor qualidade.

### Deconvolução preditiva multicanal

Baseando-se no modelo convolucional o traço sísmico marítimo sem ruído aditivo pode ser descrito por:

$$x(t) = p(t) * e(t) * m(t).$$

onde  $x(t)$  é o traço sísmico,  $p(t)$  o pulso sísmico considerado invariante no tempo e  $e(t)$  a representa a resposta impulsional da Terra, que inclui as primárias e as múltiplas internas (Yilmaz, 1989) e  $m(t)$  é a sequência geradora de múltiplas do fundo do mar. Dada uma sequência  $x(t)$  de comprimento  $M$ , o filtro preditivo irá comprimi-lo para um comprimento  $L$ , onde  $L$  é a distância de predição. Assim para um caso particular onde  $L = 1$ , a operação é dita deconvolução do pulso fornecendo como traço resultante  $\tilde{x}(t)$  idealmente formado pela resposta impulsiva da Terra convolvida com o trem de múltiplas associadas à superfície livre:

$$\tilde{x}(t) = e(t) * m(t).$$

Assim  $\tilde{x}(t)$  resulta num traço com maior resolução temporal já que o pulso  $p(t)$  foi comprimido à uma função delta de Dirac (Robinson e Treitel, 1980). Por outro lado quando  $L$  é um valor maior que a unidade, o operador preditivo de erro terá sua ação deslocada no tempo, ou seja atuará sobre amostras situadas a tempos maiores, esse fato nos

permite escolher convenientemente o valor de  $L$  de forma que o operador atue na zona de múltiplas, promovendo a atenuação das mesmas (Lima, 1999). Ao aplicarmos o operador preditivo obtemos um traço deconvolvido  $\tilde{y}(t)$  idealmente livre das múltiplas, ou seja o traço resultante representaria a série refletividade convolvida com o pulso sísmico:

$$\tilde{y}(t) = p(t) * e(t).$$

A deconvolução preditiva (DP) para supressão de múltiplas, a qual utiliza o processo de filtragem Wiener-Levinson (WL) (Robinson e Treitel, 1980) é um método estatístico que baseia-se no caráter periódico das múltiplas, no entanto essa periodicidade só é preservada no caso de incidência normal e afastamento nulo, o que torna a deconvolução empregada menos efetiva. Na forma multicanal a deconvolução preditiva leva em conta a correlação espacial existente entre os canais laterais, agindo sobre vários traços simultaneamente. Convencionalmente, o algoritmo WL mono ou multicanal resolve um sistema de equações lineares que utiliza a matriz dos coeficiente de autocorrelação do sinal de entrada. Se usada na deconvolução de múltiplas, a matriz terá ainda elementos correspondentes à correlação cruzada entre a saída desejada e o sinal de entrada. A recursão de Levinson é então aplicada para resolver o sistema, cuja solução dos mínimos quadrados são os coeficientes do filtro preditivo WL a ser usado na deconvolução das múltiplas (Lima, 1999). Em algoritmos mais atuais (Porsani e Ursin, 2007) a recursão de Levinson é aplicada diretamente sobre o(s) traço(s) sísmico(s) gerando e atualizando o traço deconvolvido sem calcular os elementos do filtro. A seguir mostramos a teoria descrita por Porsani e Ursin, (2007) sobre o algoritmo de deconvolução direta multicanal para predição arbitrária, isto é a distância de predição ( $L$ ) é maior que um, visando atuar zona das múltiplas predizendo e atenuando estes eventos.

#### Deconvolução multicanal com predição arbitrária ( $L > 1$ )

Consideramos  $M - L + 2$  amostras no tempo avançado e  $\tilde{K}$  traços sísmicos ( $1 \leq \tilde{K} \leq K$ ), representados na matriz  $(M - L + 2) \times \tilde{K}$ .

$$\mathbf{X}_L = \begin{bmatrix} x_{1,L-1} & \dots & x_{\tilde{K},L-1} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{1,M} & \dots & x_{\tilde{K},M} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

De maneira análoga podemos escrever o erro de predição arbitrária  $L$  para  $\tilde{K}$  canais na forma matricial

$$\tilde{\mathbf{E}}_N = \begin{bmatrix} \tilde{e}_{N,L-1} \\ \vdots \\ \tilde{e}_{N,M+N+L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_L & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mathbf{X} & 0 & 0 \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{X} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}} \\ \mathbf{C}_{N,1} \\ \vdots \\ \mathbf{C}_{N,N} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

onde  $\tilde{\mathbf{I}}$  é a matriz identidade de ordem  $\tilde{K}$ .  $\tilde{e}_{N,i}$  representa o vetor  $1 \times K$  correspondente aos erros de predição arbitrária ao tempo  $i$  (traços deconvolvidos).

Considerando conhecido o filtro reverso de erro de predição unitária e o filtro direto de erro de predição  $L$ , ambos de ordem  $j$ , escrevemos a recursão de Levinson como segue

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}} \\ \mathbf{C}_{j+1,1} \\ \vdots \\ \mathbf{C}_{j+1,j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{C}_{j,1} & \mathbf{B}_{j,j} \\ \vdots & \vdots \\ \mathbf{C}_{j,j} & \mathbf{B}_{j,1} \\ 0 & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}} \\ \mathbf{C}_{j+1,j+1} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Substituindo a equação (3) na (2) para a ordem  $j+1$  obtém-se

$$\tilde{\mathbf{E}}_{j+1} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{E}}_j & 0 \\ 0 & \mathbf{E}_j^- \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}} \\ \mathbf{C}_{j+1,j+1} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

O coeficiente  $\mathbf{C}_{j+1,j+1}$  pode ser calculado com o método dos mínimos quadrados, minimizando o traço da matriz  $\{(\tilde{\mathbf{E}}_{j+1})^T (\tilde{\mathbf{E}}_{j+1})\}$ . O sistema de equações normais resultante é dado a seguir

$$[(\mathbf{E}_j^-)^T \mathbf{E}_j^-] \mathbf{C}_{j+1,j+1} = - [0 \quad (\mathbf{E}_j^-)^T] \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{E}}_j \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Resolvendo-se a equação (5) podemos atualizar os erros de predição arbitrária através da equação (4).

#### Operador Areal de DP

Convencionalmente o operador de deconvolução multicanal utiliza canais adjacentes, isto é traços vizinhos de uma mesma família de traços, seja CO ou CMP (Lima, 1999; Santos, 2002; Porsani e Ursin, 2007). No entanto ao observarmos a geometria de levantamento dos dados vê-se que outros traços vizinhos podem ser considerados, estes traços pertencem a outras famílias de CO e que espacialmente estão tão próximos quanto os traços da mesma família de CO. A Fig. 1 ilustra a geometria de aquisição dos dados, destacando as famílias de traços e a relação entre coordenadas da fonte ( $x_G$ ), dos receptores ( $x_G$ ), de ponto médio ( $x_m$ ) e afastamento médio ( $h$ ). Para o caso de traços localizados na área de cobertura máxima, excluindo bordas e extremos, podemos considerar até oito traços vizinhos. A partir desse fato desenvolvemos um operador de deconvolução multicanal que deconvolve o traço alvo utilizando as informações dos traços na área vizinha, sendo por isso denominado operador de Deconvolução Areal, utilizando um algoritmo de deconvolução direta. Neste caso escolhemos selecionar somente os seis traços vizinhos. Após a seleção dos traços é aplicada a DP multicanal traço-a-traço deconvolvendo o traço central, ou traço alvo, a partir das informações dos canais vizinhos selecionados, os quais pertencem agora a diferentes famílias CO e CMP, e devolve o traço deconvolvido na posição original do traço central, assim o operador visita todos os pontos na matriz de dados. O operador assim desenhado possibilita utilizarmos maior quantidade de informação garantindo maior robustez na solução do problema.

**Aplicação em dado real**

O dado da Bacia do Jequitinhonha se constitui de uma linha sísmica marinha prestack 2-D adquirida sobre a região da quebra da plataforma continental. Os dados foram processados conforme descrito no Fluxograma apresentado na Fig. 2. Na Fig. 3 apresentamos uma família CDP, ilustrando o efeito da aplicação da correção de MMO, observamos que as múltiplas foram atenuadas.

A distância de predição ( $L$ ) adotada é calculada através de um percentual do período ( $P$ ) da primária, o qual é coletado através de um "picking" na seção CO do dado, assim como o número de coeficientes ( $n$ ) do filtro. Neste caso os valores usados foram:  $L = 0.95 * P$  e  $n = 0.1 * P$ .

**Resultados**

O resultado após aplicação deconvolução preditiva multicanal com operador areal é mostrado nas Figs. 4 e 5, onde podemos observar a efetividade do fitro ao atenuar as múltiplas referentes a reverberação na lâmina d'água sob o talude continental.

**Conclusões**

Nos resultados obtidos observamos a efetividade do operador aplicado à atenuação de múltiplas do fundo do mar. A DP multicanal operando sobre traços que pertencem a diferentes famílias de CO e CMP explora de maneira otimizada as informações contidas nos dados sísmicos de multicobertura. O operador assim aplicado potencializa a ação da DP multicanal maximizando a efetividade do filtro.

**Agradecimentos**

Os autores agradecem à Paradigma e Landmark pelas licenças educacionais concedidas, à PETROBRAS e CNPQ/PRONEX/FAPESB pelo apoio à Rede Cooperativa NNE em Geofísica de Exploração.

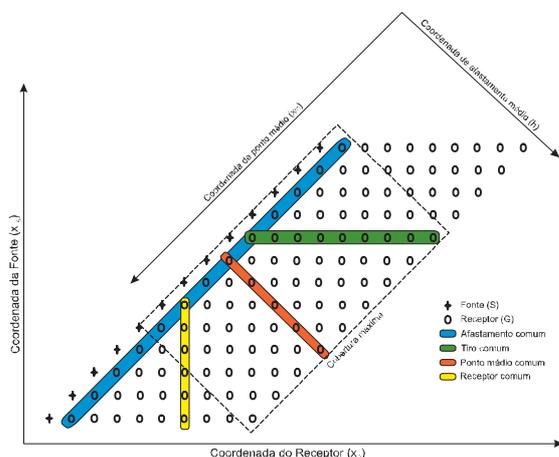


Figura 1: Geometria de aquisição dos dados identificação das famílias de CO e CMP, relação entre as coordenadas  $x_s$ ,  $x_G$ ,  $x_m$  e  $h$ .



Figura 2: Fluxograma do processamento.

**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.

**Lima, A. P.** (1999) Deconvolução de reflexões múltiplas nos domínio  $t - x$  e  $\tau - p$ , Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

**Maciel, R. C., Melo, P. E. M. e Porsani, M.** (2003) Deconvolução de reflexões múltiplas do fundo do mar utilizando um método Iterativo multicanal. 8th International congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro, Brasil.

**Porsani, M. J. & Ursin, B.** (2007). Direct multichannel predictive deconvolution. Geophysics, 72, H11.

**Robinson, E. A. & Treitel, S.** (1980). Geophysical Signal Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

**Santos Jr., A.** (2002) Deconvolução multicanal utilizando um algoritmo tipo Wiener-Levinson, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

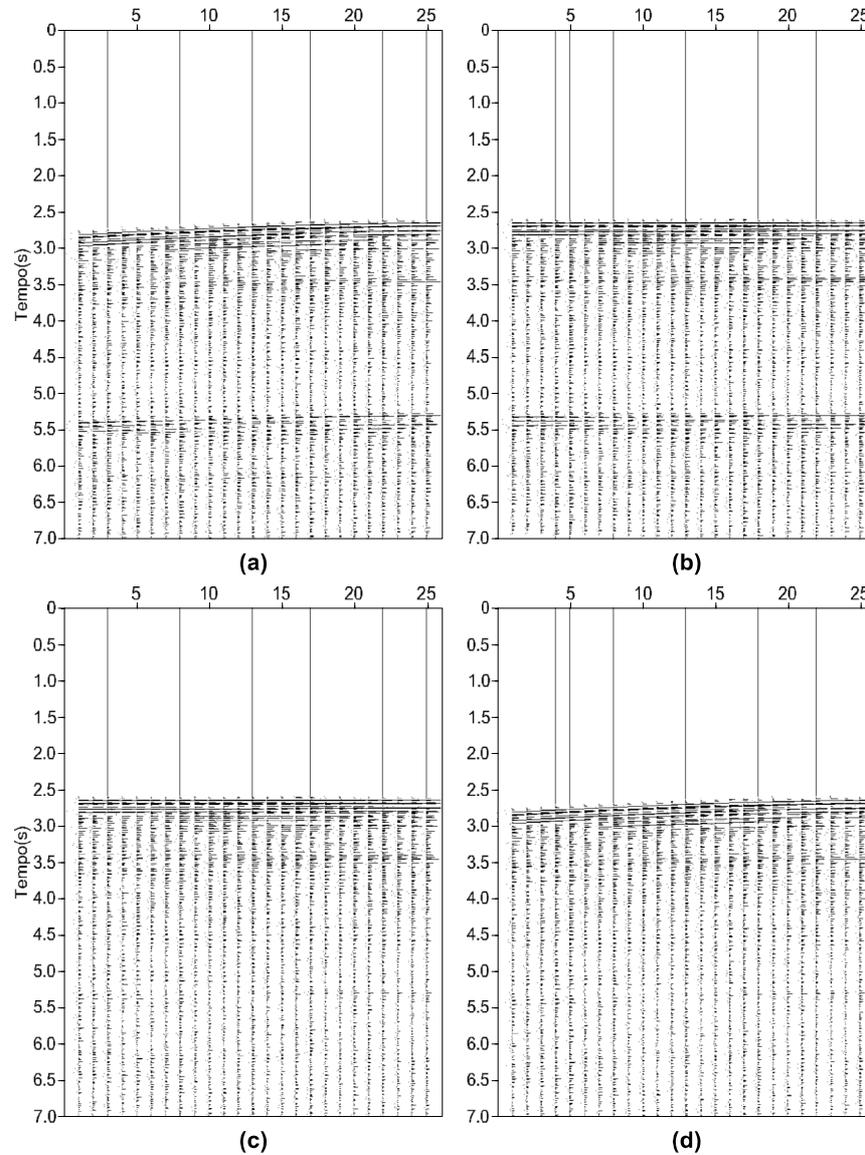


Figura 3: Família CDP 3277: Em (a) Original. Em (b) original após aplicação de MMO, (c) corrigida de MMO após aplicação do Filtro, observar a atenuação das múltiplas e (d) após a remoção da correção de MMO.

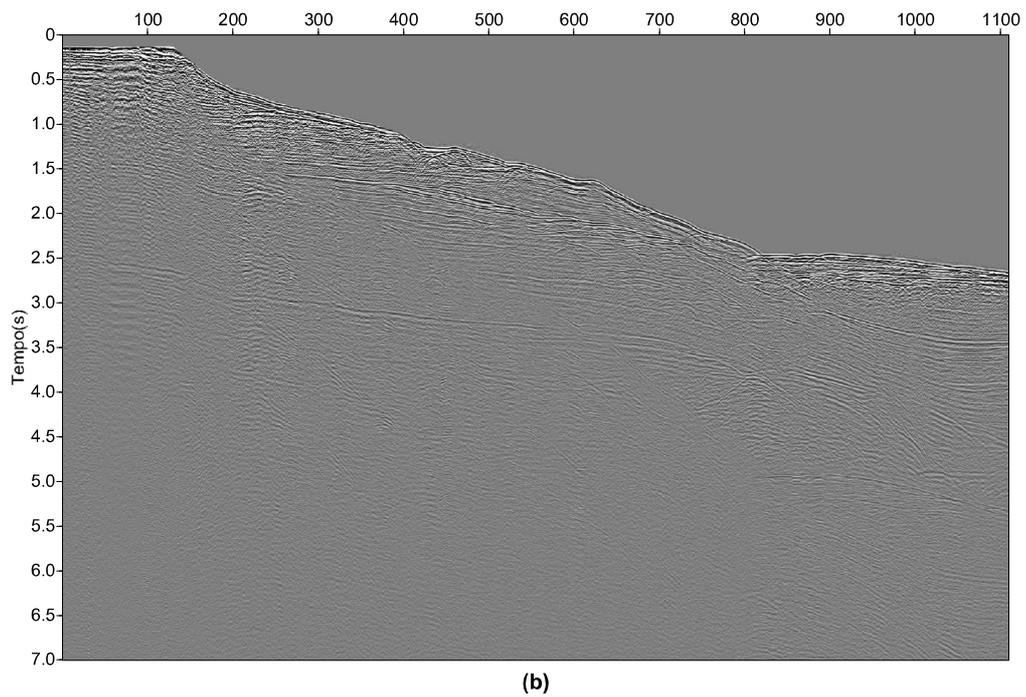
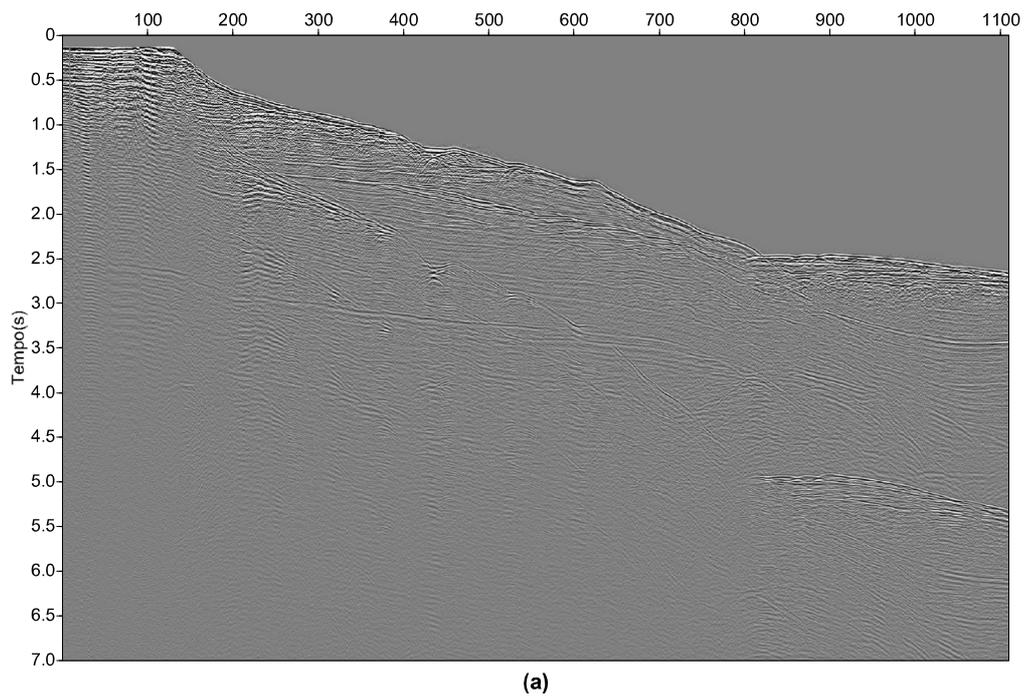
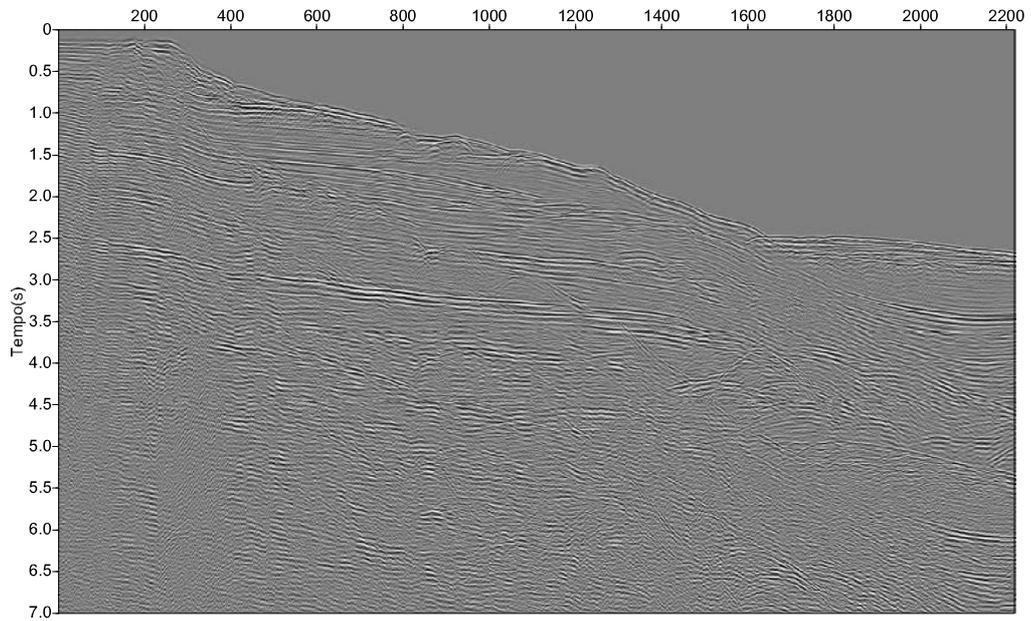
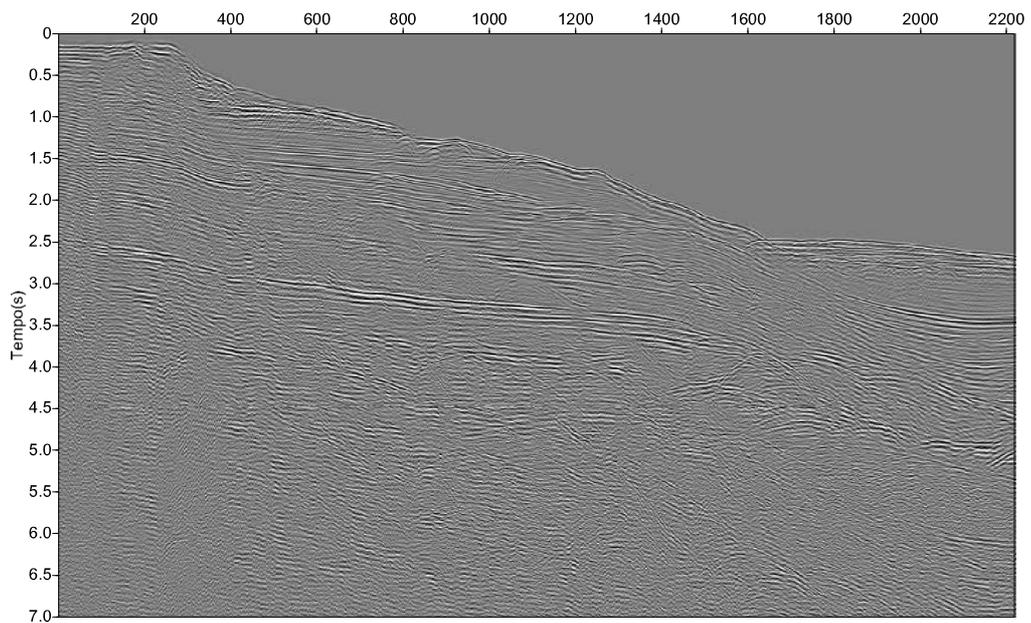


Figura 4: Painel de CO mínimo: em (a)Original. Em (b)após aplicação do Filtro.



(a)



(b)

Figura 5: Seção Empilhada: em (a)Original. Em (b)após aplicação do Filtro.