

Atenuação de reflexões múltiplas de curto período utilizando filtragem adaptativa

Silmara L. R. Oliveira*, Milton J. Porsani, Rosângela C. Maciel e Michelângelo G. Silva, CPGG-UFBA

Copyright 2008, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

RESUMO

Reflexões múltiplas de curto período ocorrem nos sismogramas de levantamentos sísmicos realizados sobre lâmina d'água rasa. A reverberação intensa da energia sísmica mascara as demais reflexões prejudicando bastante a razão Sinal/Ruído dos sismogramas. No presente trabalho testamos dois métodos de filtragem das múltiplas de curto período. Empregamos a deconvolução preditiva adaptativa de Wiener Levinson (DPAWL) com janelas de tempo fixas, ou seja, as janelas são deslocadas com certo grau de recobrimento e os filtros preditivos são calculados através do algoritmo de Levinson e aplicados dentro de cada janela. Uma das limitações da filtragem de Wiener-Levinson é que o método considera que os valores são nulos fora da janela de tempo considerada. Esta limitação não existe no algoritmo de Morf, fazendo com que o filtro seja mais eficaz na predição e atenuação dos eventos periódicos. Utilizamos pois o método de deconvolução preditiva adaptativa de Morf (DPAM) com janelas deslizantes, ou seja, as janelas de aplicação do filtro são deslocadas amostra a amostra ao longo de todo o traço sísmico, e a cada nova posição um novo filtro é calculado e aplicado. Para comparação das duas abordagens utilizamos os dados sísmicos da Bacia de Jequitinhonha. Os resultados obtidos demonstraram que a DPAM atua com melhor eficácia que a DPAWL.

INTRODUÇÃO

A sísmica de reflexão tem como objetivo a obtenção de imagens sísmicas que melhor representem as estruturas geológicas em subsuperfície. A presença de múltiplas numa imagem sísmica prejudica a interpretação, pois elas podem ser erroneamente interpretadas como eventos primários (Maciel, 2007). Além desse problema, também a etapa de migração dos dados pode ser prejudicada uma vez que tratará as múltiplas como primárias.

As reflexões múltiplas de curto período são ruídos coerentes, oriundas da reverberação da energia sísmica em uma camada pouco espessa e com fortes contrastes de impedância.

A maioria das técnicas de atenuação de múltiplas explora as diferenças no sobretempo normal (normal moveout - NMO) e as características periódicas desses eventos. A predição e supressão das múltiplas de curto período é um grande desafio para o processamento sísmico, uma vez que, elas não apresentam periodicidade bem definida.

O método denominado deconvolução é freqüentemente empregado na sísmica para comprimir o pulso e, portanto, melhorar a definição das reflexões nos dados registrados. Também permite a remoção de reverberações e eventos múltiplos, restaurando, assim, da melhor maneira possível, a refletividade. A deconvolução preditiva é um método estatístico que se baseia na periodicidade das múltiplas. Entretanto, esse método tem sucesso restrito aos afastamentos curtos e meios horizontalmente estratificados, situações estas onde a periodicidade é melhor observada.

Outra limitação do método é a estacionaridade do processo. Para resolver esse problema, alguns autores (Clarke, 1968; Griffiths et al, 1977) desenvolveram a deconvolução preditiva adaptativa, onde, em condições de não estacionaridade do pulso sísmico, o traço registrado é dividido em janelas, tornando-o mais estacionário. Em cada janela é determinado e aplicado um filtro específico.

No presente trabalho, foi utilizada a deconvolução preditiva adaptativa para fazer a atenuação de múltiplas de curto período. Foram testados dois métodos: (i) Deconvolução Preditiva Adaptativa de Wiener-Levinson (DPAWL) com janelas fixas e (ii) Deconvolução Preditiva Adaptativa de Morf (DPAM) com janelas deslizantes.

Morf et al. (1977) desenvolveram um eficiente algoritmo tipo Levinson para solução das equações normais (ENs) associadas ao problema de predição linear (distância de predição unitária $L = 1$), no qual não é feita qualquer hipótese sobre os dados fora da janela considerada. Porsani, (1994) estendeu o algoritmo de Morf para predição arbitrária ($L > 1$). Nestes casos, a matriz das ENs não mais terá a estrutura Toeplitz e o filtro inverso obtido com o algoritmo de Morf terá contribuição apenas dos dados do interior da janela, diferentemente do filtro de Wiener Levinson (WL), que considera amplitudes nulas das amostras do traço que estão fora da janela.

DECONVOLUÇÃO PREDITIVA ADAPTATIVA (DPA)

A DPA é um procedimento que trabalha com janelas de tempo do traço, procurando dessa forma assegurar que ao menos no interior da janela a premissa de estacionaridade seja válida.

Deconvolução Preditiva Adaptativa de Wiener Levinson (DPAWL)

A filtragem preditiva é descrita pela fórmula de convolução discreta e é representada na forma de predição linear (Robinson e Treitel, 1980) da seguinte forma,

$$\tilde{x}_{t+L} = \sum_{k=1}^n x_{t-k+1} \tilde{a}_k$$

onde, \tilde{x}_{t+L} = sinal predito no tempo $t + L$
 L = distância de predição;
 \tilde{a}_k = filtro de predição.

O operador preditivo de erro (OPE) com distância de predição L é representado da seguinte forma,

$$1, 0_1, \dots, 0_{L-1}, -\tilde{a}_1, \dots, -\tilde{a}_N$$

Sendo que os N coeficientes não nulos do filtro atuarão sobre o traço sísmico, x_t , em tempos passados, preservando as L amostras referentes às reflexões primárias.

A DPAWL divide o traço em janelas de tempo fixas no intervalo x_t, \dots, x_{t+L} e impõe que os dados são iguais a zero fora do intervalo considerado. Neste caso, para cada janela, o sistema de ENs tem a forma Toeplitz e pode ser resolvido com a Recursão de Levinson (RL).

Deconvolução Preditiva Adaptativa de Morf (DPAM)

A DPAM utiliza janelas deslizantes e utiliza apenas os dados do interior da janela para obtenção do filtro, ou seja, nenhuma hipótese é feita sobre os dados fora da janela (Montenegro, 1996). Porsani (1994) modificou o algoritmo de Morf e desenvolveu um algoritmo adaptativo que atualiza o filtro preditivo da janela $J_{L,j}$ para ser solução da janela seguinte, $J_{L,j+1}$. Esse algoritmo adaptativo resolve de forma eficiente e exata as ENs para cada posição de janela deslizante em tempo.

RESULTADOS

Os métodos de deconvolução adaptativa foram testados em uma linha sísmica da Bacia de Jequitinhonha, disponível no CPGG-UFBA. Os parâmetros, número de coeficientes do filtro (N) e distância de predição (L), utilizados na aplicação dos métodos de deconvolução foram, $N = 25$ e $L = 5$, respectivamente.

Aplicação da DPAWL

A Figura 1 apresenta o fluxograma utilizado na aplicação dos algoritmos de deconvolução adaptativa. Para aplicar a DPAWL o dado foi organizado em famílias CMP. A Figura 2 mostra a divisão dos traços que compõem o CMP em quatro janelas fixas no tempo.

Com os parâmetros descritos anteriormente, obtivemos bons resultados, que estão representados na Figura 3. Nessa figura pode ser observado que as reverberações presentes em todo CMP, principalmente nos *offsets* mais curtos, foram atenuadas. Os eventos estão mais bem definidos e comprimidos em (b) que em (a).

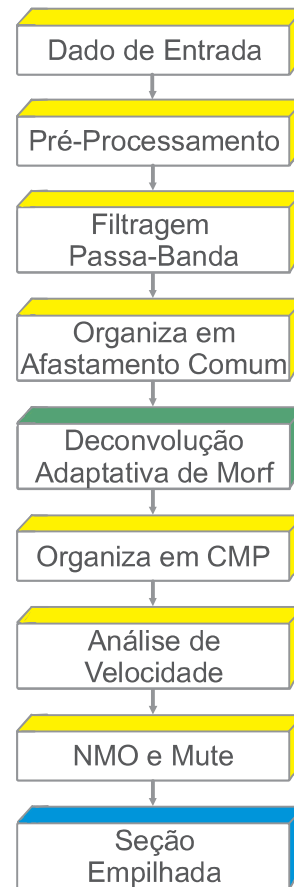


Figura 1: Fluxograma de processamento sísmico utilizado no teste dos algoritmos adaptativos.

A Figura 4 mostra a seção sísmica empilhada preliminar sem a filtragem das múltiplas. Observa-se nessa figura, na região de lâmina d'água rasa, que as reflexões estão mascaradas pelas múltiplas de curto período, sendo difícil distinguir as reflexões de interesse com precisão.

Após a aplicação do filtro WL, fizemos, novamente, a análise de velocidade e o resultado final é mostrado na Figura 5. Comparando esta seção empilhada com a seção preliminar, observamos que houve grande atenuação das múltiplas de curto período.

Aplicação da DPAM

A DPAM foi aplicada no dado organizado em painéis de afastamento comum e a deconvolução realizada em janelas de diferentes tamanhos como mostra a Figura 6. Existem duas janelas de deconvolução para cada traço, $J(i), i = 1, \dots, 11$ e J_m .

A janela $J(i)$, é a janela inicial de deconvolução, o valor do número de amostras dessa janela varia a cada traço ao longo do painel, devido a essa variação foram escolhidos 11 coordenadas correspondentes ao traço e ao número de amostras, para que fosse feito a interpolação destes valores para todos os traços do painel. O valor

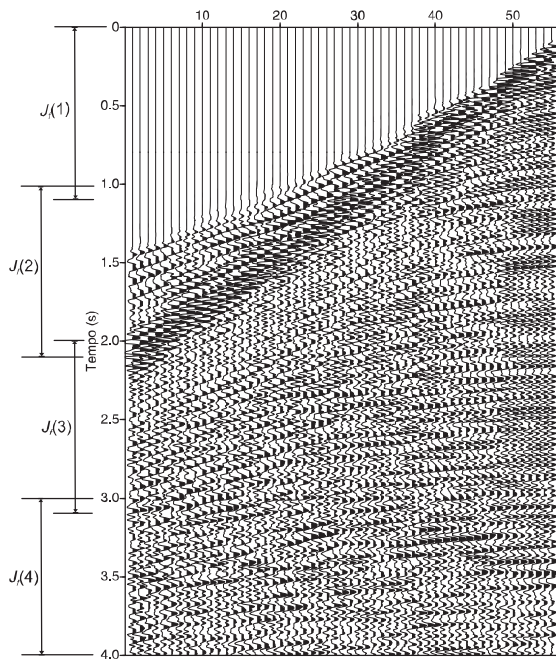


Figura 2: Janelas em tempo, $J_f(i)$, $i = 1, 2, 3, 4$, utilizadas para fazer a DPAWL.

da janela J_m não varia, porém, para que o sistema tenha estabilidade, a janela tem que ser maior que $(2 \times N) + 2$. A janela J_m é móvel e será deslocada de amostra em amostra por todo o traço obtendo um filtro a cada posição da janela.

O resultado deste método no domínio CMP está mostrado na Figura 7. Observa-se em (a) que as reflexões primárias estão mascaradas pelas múltiplas e que é bastante difícil distingui-las, após a DPAM (b) grande parte da reverberação foi atenuada e as reflexões ficaram bem definidas.

A Figura 8 ilustra a seção sísmica empilhada obtida com o uso da DPAM. O resultado foi superior ao alcançado com a DPAWL. Alguns eventos ficaram mais bem definidos do que anteriormente e as múltiplas foram melhor suprimidas. Aproximadamente acima de 1.0 s observam-se refletores de interesse, que antes da filtragem não conseguíamos distinguir. Em 0.5 s o refletor ficou mais nítido sendo possível observar melhor sua continuidade. Houve também uma visível melhoria na imagem na região das falhas.

Os parâmetros utilizados foram definidos com o intuito de melhorar a imagem da região de lâmina d'água rasa, que apresenta forte presença de múltiplas de curto período, que, por sua vez, têm características distintas das múltiplas presentes na região da quebra do talude. Portanto, na região de água mais profunda, a seção perdeu um pouco de qualidade.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As deconvoluções preditivas adaptativas demonstraram ser uma boa ferramenta para a atenuação de múltiplas de curto período. A DPAWL, utilizando 4 janelas fixas, apresentou bons resultados.

A escolha do número de coeficientes do filtro e do comprimento da janela móvel, que são utilizados na DPAM, influencia bastante os resultados obtidos. Observamos que, quanto menor o tamanho do filtro e da janela, menos efetivo é o algoritmo. Os melhores resultados obtidos foram para o filtro com $N = 25$ coeficientes e distância de predição $L = 5$ amostras. Com estes valores, o método adaptativo de Morf conseguiu suprimir e atenuar as múltiplas de curto período de forma eficaz evidenciando as reflexões primárias.

O método de deconvolução preditiva é bastante utilizado no processamento de dados sísmicos. Os resultados obtidos comprovam a eficácia do método de deconvolução adaptativa e sugerem seu emprego na atenuação de múltiplas de curto período.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio financeiro concedido pela FINEP, PETROBRAS, FAPESB, ANP-PRH08 e CNPQ. Ao LAGEP e CPGG/UFBA pela boa infra-estrutura tecnológica oferecida, à Paradigm Geophysical pela licença do *software* de processamento sísmico (Focus) e à Landmark pela licença educacional dos *softwares* *seispace* e *seiswork*. SLRO agradece ao PIBIC pelo apoio financeiro em forma de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

- Clarke, G. K. C., 1968, Time-varying deconvolution filters, *Geophysics*, 33.
- Griffiths, L. J., Smolker, F. R. e Trembley, L. D., 1977, Adaptive Deconvolution: A new technique for processing time varying seismic data, *Geophysics*, 42.
- Maciel, R. M., 2007, Deconvolução preditiva multicanal de reflexões múltiplas no domínio CRS, Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Montenegro, J. F. B., 1996, Deconvolução adaptativa da assinatura da fonte utilizando janelas de tempo deslizantes, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Morf, M. D. B., Kailath, T. e Vieira, A., 1977, Recursive solution of covariance equations for linear prediction, 25.
- Porsani, M. J., 1994, Um algoritmo adaptativo para a obtenção do operador preditivo de erro. (Não Publicado).
- Robinson, E. A. e Treitel, S., 1980, *Geophysical Signal Analysis*, Englewood Cliffs - Prentice Hall.

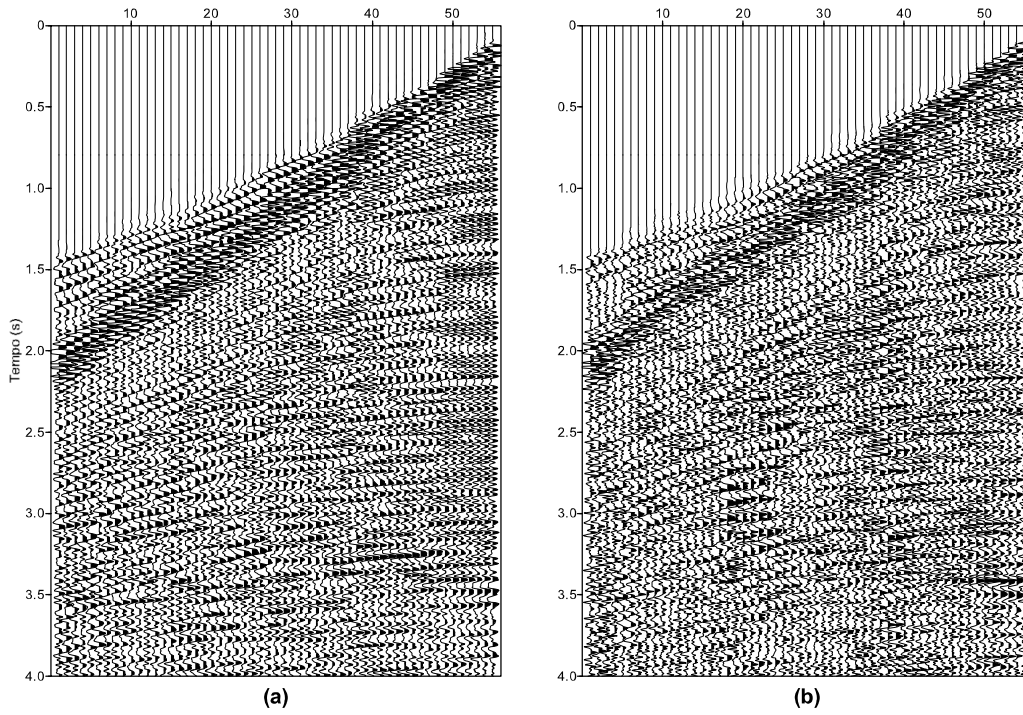


Figura 3: CMP 298 (a) original e (b) após a DPAWL.

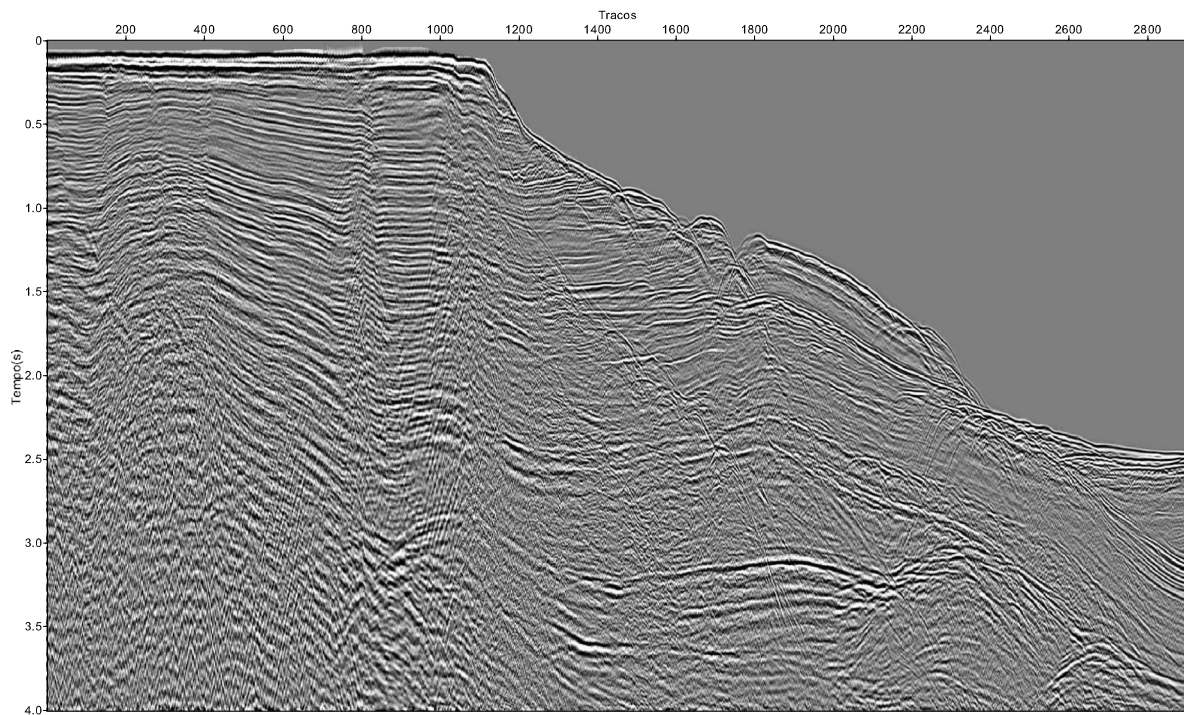


Figura 4: Seção sísmica empilhada preliminar.

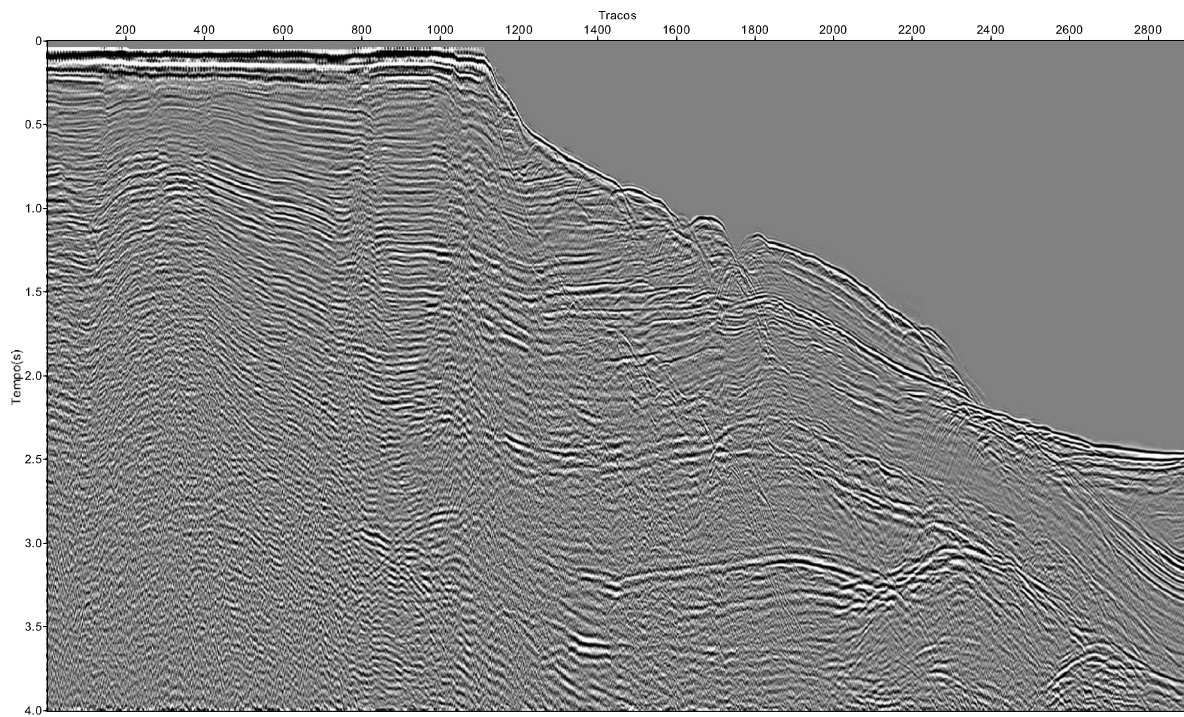


Figura 5: - Seção empilhada após a DPAWL.

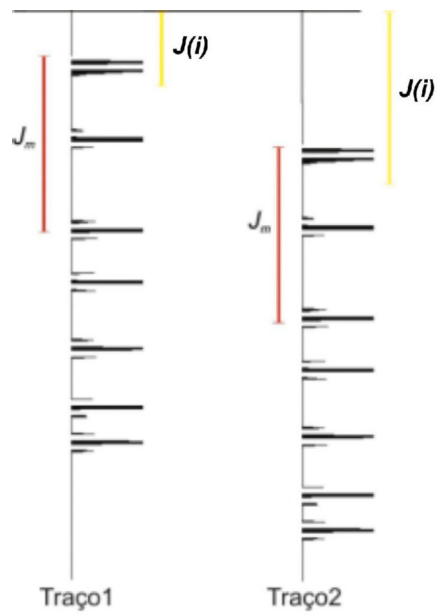


Figura 6: Esquema mostrando a relação entre a janela de deconvolução inicial $J(i)$, $i = 1, \dots, 11$ e a janela móvel J_m .

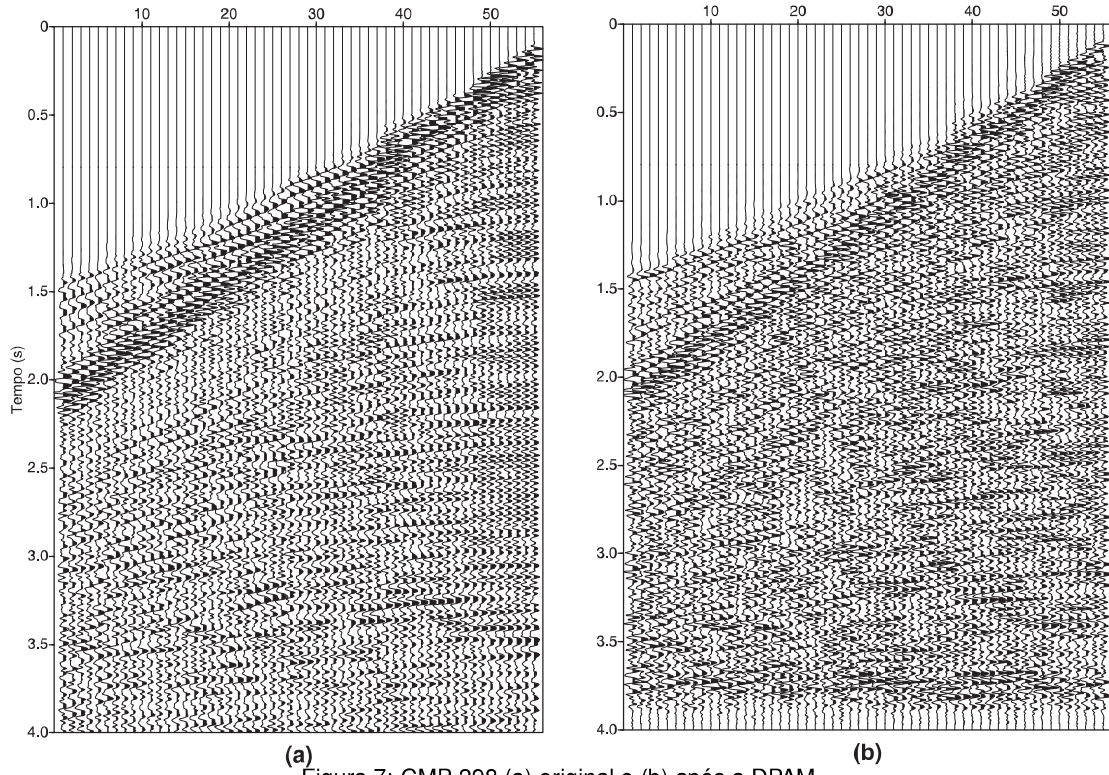


Figura 7: CMP 298 (a) original e (b) após a DPAM.

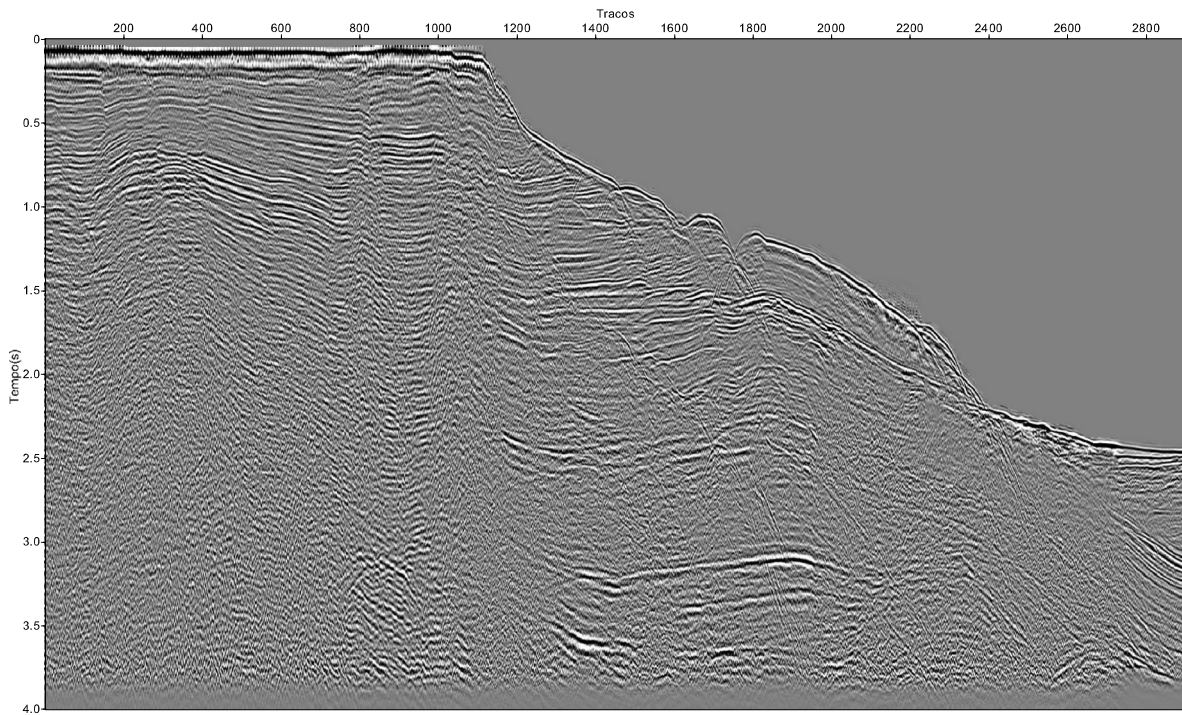


Figura 8: Seção empilhada após a DPAM.