



Aplicações da filtragem SVD na análise de velocidades e no empilhamento CMP

Oscar F. Mojica, Milton J. Porsani, e Michelângelo G. da Silva, CPGG-UFBA e INCT-GP/CNPq

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the Twelfth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the Twelfth International Congress of The Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent 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.

Resumo

No presente trabalho aplicamos o método de filtragem adaptativa baseada no método SVD (*Singular Value Decomposition*) para a melhoria da análise de velocidades e do empilhamento CMP. Antes da aplicação do método é feita a correção normal *moveout* (NMO) dos sismogramas, tendo como finalidade deixar as reflexões de interesse aproximadamente horizontais. A filtragem SVD trabalha na forma multicanal e pode ser aplicada seguindo um procedimento padrão que consiste na seleção de um conjunto de traços vizinhos tomados ao redor do traço alvo da filtragem. Desta forma traços de diferentes tiros podem ser utilizados na filtragem SVD. A coleta de traços pertencentes a diferentes tiros, no mapa de cobertura, pode ser representada por um operador espacial. No presente trabalho utilizamos um operador de cinco pontos que denominamos operador em cruz que opera sobre todos os traços do mapa de cobertura do levantamento sísmico. A cada posição do operador, o traço filtrado (centro do operador) é obtido tomando-se a primeira ou somando-se a(s) primeira(s) autoimagem(ns) do painel de 5 traços selecionados. Desta forma reforçamos a coerência correspondente às reflexões primárias, em detrimento do sinal restante (*ground-roll*, múltiplas e demais eventos não correlacionados), localizado nas demais autoimagens. A filtragem SVD pode ser vista como um método de filtragem adaptativa multicanal onde cada traço filtrado guarda certo grau de coerência com os traços imediatamente vizinhos. O método foi testado sobre uma linha sísmica terrestre da Bacia do Tacutu. Os resultados obtidos mostram espectros de velocidades com melhor definição, como também seções empilhadas exibindo melhor continuidade das reflexões e menor ruído *ground-roll*, comparado com os resultados do processamento bruto (sem a filtragem SVD).

Introdução

O método de filtragem SVD tem importantes aplicações no processamento de dados sísmicos. A Filtragem SVD pode ser utilizada para reforçar a coerência espacial dos dados sísmicos, tornando mais evidente as reflexões, e ao mesmo tempo atenuar o ruído não coerente. Esta técnica de filtragem SVD tem sido implementada e aplicada em vários tipos de problemas do processamento de dados

sísmicos (Freire, 1986, Freire & Ulrych, 1998, Bekara & van der Baan, 2006, Porsani et al., 2009, 2010a, 2010b).

Kendall et al. (2005) propôs o uso do método SVD para obtenção de filtros de polarização para atenuação do *ground-roll* em dados multicomponentes. Tyapkin et al. (2003) propôs o uso do método de alinhamento dos eventos para tornar o ruído horizontal em uma ou mais seções dos sismogramas de ponto de tiro comum. Em cada seção o ruído coerente (*ground-roll*) é preservado nas primeiras autoimagens. As demais autoimagens representam o sinal e esta parte é transformada de volta para o domínio tempo-espço. Chiu & Howell (2008) propôs o método que usa SVD para gerar autoimagens que representam o ruído coerente em uma dada janela no domínio tempo-espço. Os dados dentro de janelas são transformados no sinal analítico e procede-se a obtenção da decomposição SVD complexa, extraindo-se autoimagens da parte coerente do ruído.

A filtragem SVD na forma utilizada por Porsani et al. (2009, 2010a, 2010b), opera com a decomposição SVD de um subconjunto de traços extraído de uma linha sísmica 2D ou volume sísmico 3D. Apenas um traço do interior da janela móvel (2D ou 3D) associados às primeiras autoimagens, é escolhido para representar o traço filtrado. Este procedimento preserva a amplitude relativa e realça a continuidade e a coerência dos eventos de reflexão e atenua o ruído que está associado às demais autoimagens que são descartadas.

No presente trabalho empregamos o método proposto por Porsani et al. (2010b) para o processamento de uma linha sísmica terrestre. Neste caso a filtragem utiliza traços sísmicos coletados nos domínios de ponto de tiro comum e ponto médio comum. Ilustramos o método de filtragem SVD sobre uma linha sísmica terrestre da Bacia do Tacutu. Os resultados mostram que a filtragem SVD é capaz de aumentar a resolução dos espectros de velocidade assim como a redução do ruído da seção empilhada final.

Filtragem SVD

Considerando o subconjunto de M traços sísmicos selecionados de uma seção sísmica 2D ou de um volume sísmico 3D dado por, $d(t, x_n)$, $t = 1, \dots, N_t$ e $n = 1, \dots, M$. A matriz de dados $D = [d_1 \dots d_M] = d(t, x_1), \dots, d(t, x_M), t = 1, \dots, N_t$ pode ser decomposta através do método de decomposição em valores singulares, "*singular value decomposition*" (SVD) conforme representado a seguir (Golub & van Loan, 1996).

$$D = U \Sigma V^T \quad (1)$$

onde $\Sigma = \text{diag} \{ \sigma_1, \dots, \sigma_M \}$ com $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_M \geq 0$. As matrizes U de dimensão $N_t \times N_t$ e V de dimensão $M \times M$ são unitárias e ortogonais tal que $U^{-1} = U^T$ e $V^{-1} = V^T$.

De outra forma podemos representar

$$\begin{aligned}
 \mathbf{D} &= [\mathbf{u}_1 \dots \mathbf{u}_M] \begin{bmatrix} \sigma_1 \mathbf{v}_1^T \\ \vdots \\ \sigma_M \mathbf{v}_M^T \end{bmatrix} \\
 &= \sigma_1 \mathbf{u}_1 \mathbf{v}_1^T + \dots + \sigma_M \mathbf{u}_M \mathbf{v}_M^T \\
 &= \hat{\mathbf{D}}_1 + \dots + \hat{\mathbf{D}}_k + \dots + \hat{\mathbf{D}}_M = \sum_{k=1}^M \sigma_k \mathbf{u}_k \mathbf{v}_k^T
 \end{aligned}$$

Para cada traço de uma seção sísmica 2D que se deseja filtrar, podemos coletar o subconjunto de M traços imediatamente vizinhos, efetuar a decomposição SVD da matriz correspondente e restituir parcialmente o traço $\tilde{d}(t, x_j)$ através da equação,

$$\tilde{d}(t, x_j) = \sum_{k=1}^K \sigma_k u_k(t) v_k(x_j). \quad (2)$$

Assim, o traço $\tilde{d}(t, x_j)$ obtido a partir dos K primeiros autovetores representará o traço filtrado. Os valores pequenos de K serão responsáveis pela geração de traços, e seções de maior coerência espacial.

Operador da filtragem SVD areal (cruz)

A filtragem SVD, na forma utilizada por Porsani et al. (2009), é feita sobre um painel de traços sísmicos corrigidos de NMO no domínio ponto de tiro comum. Uma janela móvel de 3 ou 5 traços, por exemplo, recolhe os traços ao longo de todo o painel e os submete à filtragem SVD. No entanto, ao observarmos a geometria do levantamento de campo observa-se que outros traços de tiros vizinhos também podem ser utilizados.

A partir desse fato desenvolvemos um operador de filtragem SVD que filtra o traço alvo usando os traços mais próximos de cada CMP do dado. Neste caso selecionamos, além do traço central, os quatro traços imediatamente vizinhos, resultando assim um operador em forma de cruz (Fig1). Este operador espacial de 5 pontos opera sobre todo o mapa de cobertura do levantamento, extraindo 5 traços que são submetidos à filtragem SVD. Após a seleção dos traços é realizada a decomposição SVD e um novo traço filtrado é gerado na posição do traço central do operador.

Aplicação do Método

O método de filtragem SVD foi aplicado na linha sísmica terrestre 204-242 da Bacia do Tacutu. A linha contém 462 com taxa de amostragem de 4 ms. O levantamento foi feito com 96 canais por tiro e foi utilizada a geometria *split-spread* assimétrico com lanço de 1050-100-0-100-3850 m. A distância entre geofones e entre tiros foi de 50 m. O pré-processamento dos dados foi realizado com as seguintes etapas: leitura e importação dos dados, montagem da geometria de aquisição, correção estática, edição e silenciamento dos traços, e a correção de amplitude. Organizamos os dados em famílias de ponto médio comum (CMP), e estimamos um campo de velocidade. Após realizamos a correção de NMO, reorganizamos o dado em famílias de tiro, e aplicamos a filtragem SVD

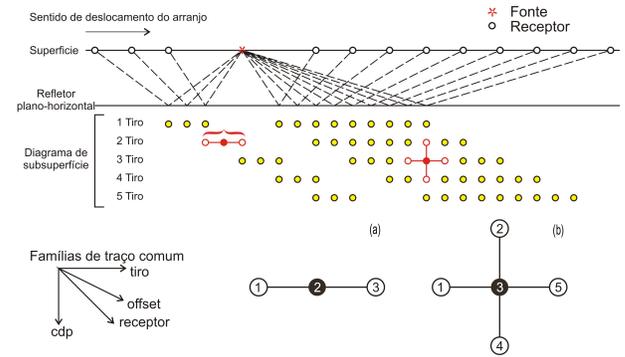


Figura 1: Mapa de cobertura e desenho dos operadores adotados para a seleção de traços. Operador janela espacial de três traços e operador espacial de cinco pontos tendo como referência o traço central (alvo da filtragem SVD) representado pelo círculo preenchido, em a) e b) respectivamente

usando o operador em cruz. Finalmente, organizamos os dados filtrados em famílias CMP e geramos a seção empilhada.

A figura 5 mostra o tiro original corrigido de NMO, o tiro filtrado com o método SVD *operador cruz* associado a primeira autoimagem (Fig. 5b) e o tiro filtrado SVD com as demais autoimagens. Podemos observar que a primeira autoimagem preserva a maior parte correlacionável do traço sísmico. A figura 6 apresenta os sismogramas após a correção NMO inversa dos dados da figura 5. O espectro de amplitude médio, correspondente aos resultados mostrados figura 6 estão apresentados na figura 2. Pode-se observar que o conteúdo das baixas frequências encontra-se concentrado em maior parte na segunda e terceira autoimagem, enquanto na primeira autoimagem é visivelmente menor, ou seja, a filtragem SVD remove parte substancial, mas não tudo da baixa-frequência dos dados originais

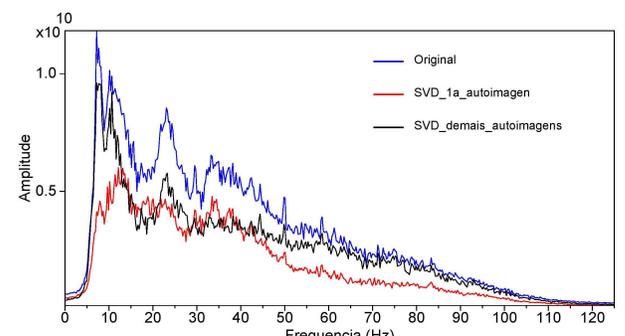


Figura 2: Espectro de amplitude médio dos sismogramas representados na figura 6

A figura 3 apresenta a análise de velocidade num *supergather* formado por 50 famílias CMP's. O *ground-roll* presente no dado degrada seriamente a análise de velocidade. O mesmo *supergather* após a filtragem SVD usando o operador cruz, junto com seu espectro de velocidade é mostrado na figura 4. Observa-se que neste espectro de velocidade os máximos valores do *semblance* estão melhor definidos, comparado ao apresentado na figura 3.

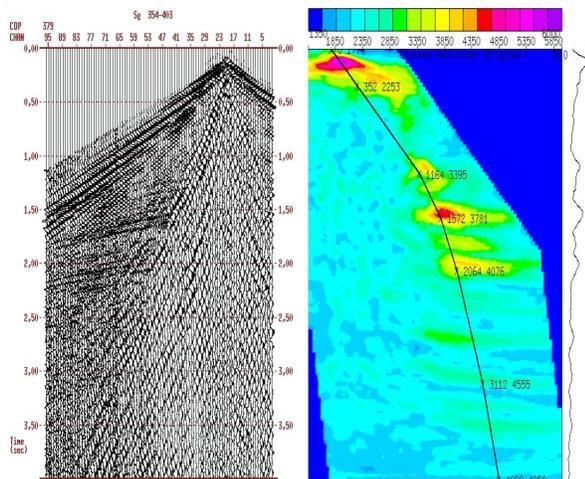


Figura 3: Dado original e seu correspondente espectro de velocidade.

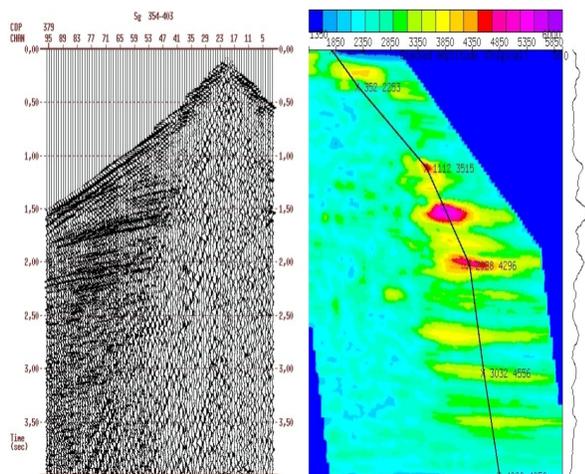


Figura 4: Dado filtrado SVD com o operador cruz e seu correspondente espectro de velocidade.

A figura 7 mostra as seções empilhadas CMP dos dados da Bacia do Tacutu. A seção sísmica empilhada original (Fig. 7a), e a seção empilhada após a filtragem SVD usando o operador cruz (Fig. 7b). Observa-se uma significativa atenuação do ruído e uma melhoria na definição dos refletores, isso pode ser claramente observado quando comparamos os resultados mostrados nas figuras 8a e 8b, que apresentam um detalhe da figura 7.

Conclusões

A filtragem SVD pode ser vista como um método de filtragem adaptativa multicanal onde cada traço filtrado guarda certo grau de coerência com os traços imediatamente vizinhos. O método é de fácil implementação podendo ser utilizado pré e pós-empilhamento, utilizando operadores lineares móveis (extraídas de um único domínio: CMP, ponto de tiro comum, afastamento comum), ou operadores areais que utilizam traços de dois domínios (ponto de tiro e

afastamento comum, por exemplo).

O método foi testado sobre uma linha sísmica terrestre da Bacia do Tacutu. Os resultados obtidos mostram espectros de velocidades com melhor definição, como também seções empilhadas exibindo melhor continuidade das reflexões e menor ruído *ground-roll*, comparado com os resultados do processamento bruto (sem a filtragem SVD).

A aplicação realizada neste trabalho mostra a eficácia do método de filtragem adaptativa SVD na atenuação do *ground-roll* e na melhoria da coerência dos refletores nas seções sísmicas. A filtragem SVD possibilita o aumento da razão Sinal/Ruído, fator limitante na resolução dos espectros de velocidade e na análise de velocidade.

Referências

Bekara, M. e Baan, M. V. (2007) Local singular value decomposition for signal enhancement of seismic data, *Geophysics*, 72:V59-V65.

Chiu, S. K. e Howell, J. E. (2008) Attenuation of coherent noise using localized-adaptive eigenimage filter., In: *Expanded Abstract, 78th Annual SEG Meeting.*, pp. 2541-2545, SEG.

Freire, S. L. M. e Ulrych T. J. (1988) Application of singular value decomposition to vertical seismic profiling, *Geophysics*, 53:778-785.

Freire, S. L. M. (1986) Aplicações do método de decomposição em valores singulares no processamento de dados sísmicos., Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

Golub, G. H. e Van Loan, C.F. (1996) *Matrix Computations*, 3rd ed. (Baltimore: Johns Hopkins University Press). Matrix computations: Johns.

Porsani, M. J.; Silva, M. G.; Melo, P.E. M. e Ursin, B. (2009) Ground-roll attenuation based on SVD filtering., In: *Expanded Abstract, 79th Annual SEG Meeting.*, pp. 3381-3385, SEG.

Porsani, M. J.; Silva, M. G.; Melo, P.E. M. e Ursin, B. (2010) An adaptive local-slope SVD filtering approach to enhance events on seismic sections., In: *Expanded Abstract, 80th Annual SEG Meeting.*, pp. 3717-3722, SEG.

Porsani, M. J.; Artola, F. A. V.; Silva, M. G. e Melo, P. E. M. (2010). Filtragem SVD aplicada à melhoria do rastreamento de horizontes sísmicos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 28, pp. 473-480.

Tyapkin, Y. K.; Marmalyevskyy, N. Y. e Gorniyak, Z. V. (2003) Source-generated noise attenuation using the singular valued decomposition., In: *Expanded Abstract, 75th Annual SEG Meeting.*, pp. 2044-2047, SEG.

Acknowledgments

Os autores agradecem à FINEP, FAPESB e CNPq/MCT e PETROBRAS pelo financiamento e apoio à pesquisa. Também agradecem às empresas Landmark e Paradigm pelos acordos de cooperação que permitem o uso das licenças dos *softwares* de processamento e interpretação sísmica disponibilizados ao LAGEP-CPGG-UFBA.

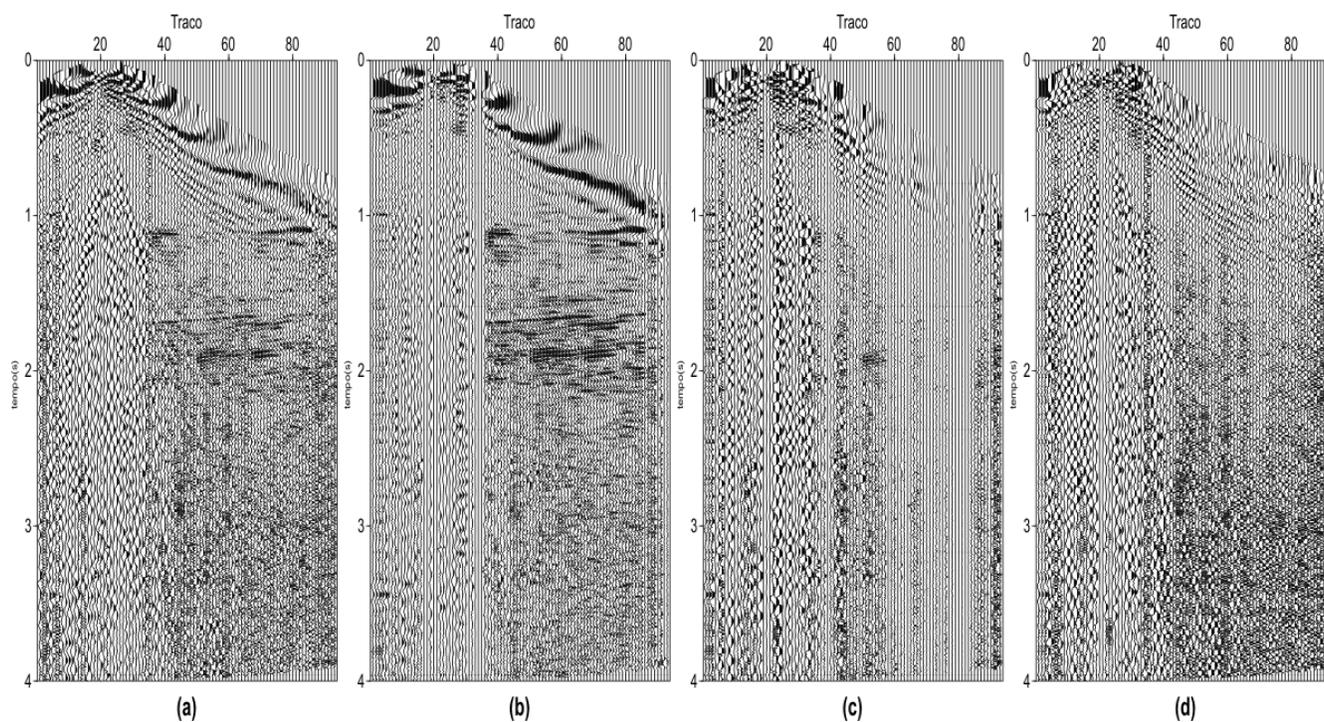


Figura 5: Resultado da Filtragem SVD (*operador cruz*) numa família de tiro comum corrigido NMO. Dado original em a) dado filtrado SVD com a primeira autoimagem em b), segunda autoimagem em c), e terceira, quarta e quinta autoimagem em d) respectivamente.

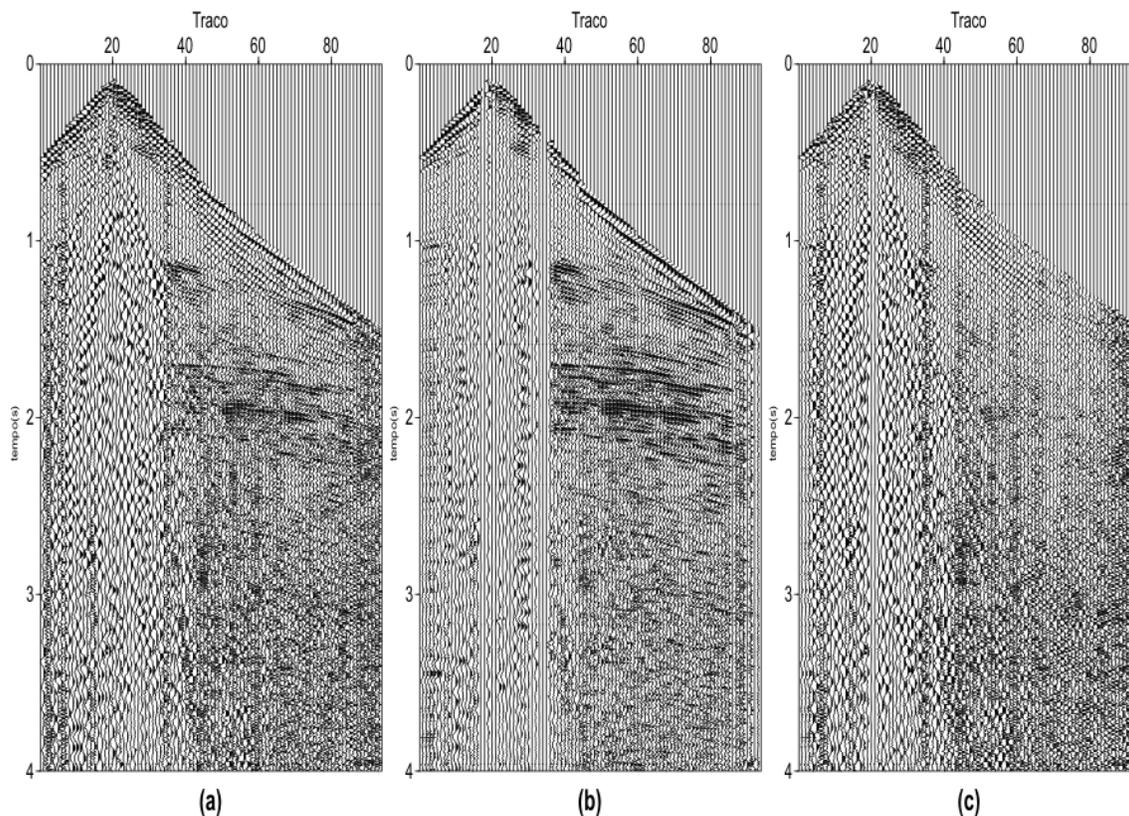


Figura 6: Resultado da Filtragem SVD (*operador cruz*) após a aplicação da correção NMO inverso nos sismogramas da figura 5. a) Dado original b) dado filtrado SVD (*operador cruz*) com a primeira autoimagem (sinal) e c) demais autoimagens da decomposição SVD.

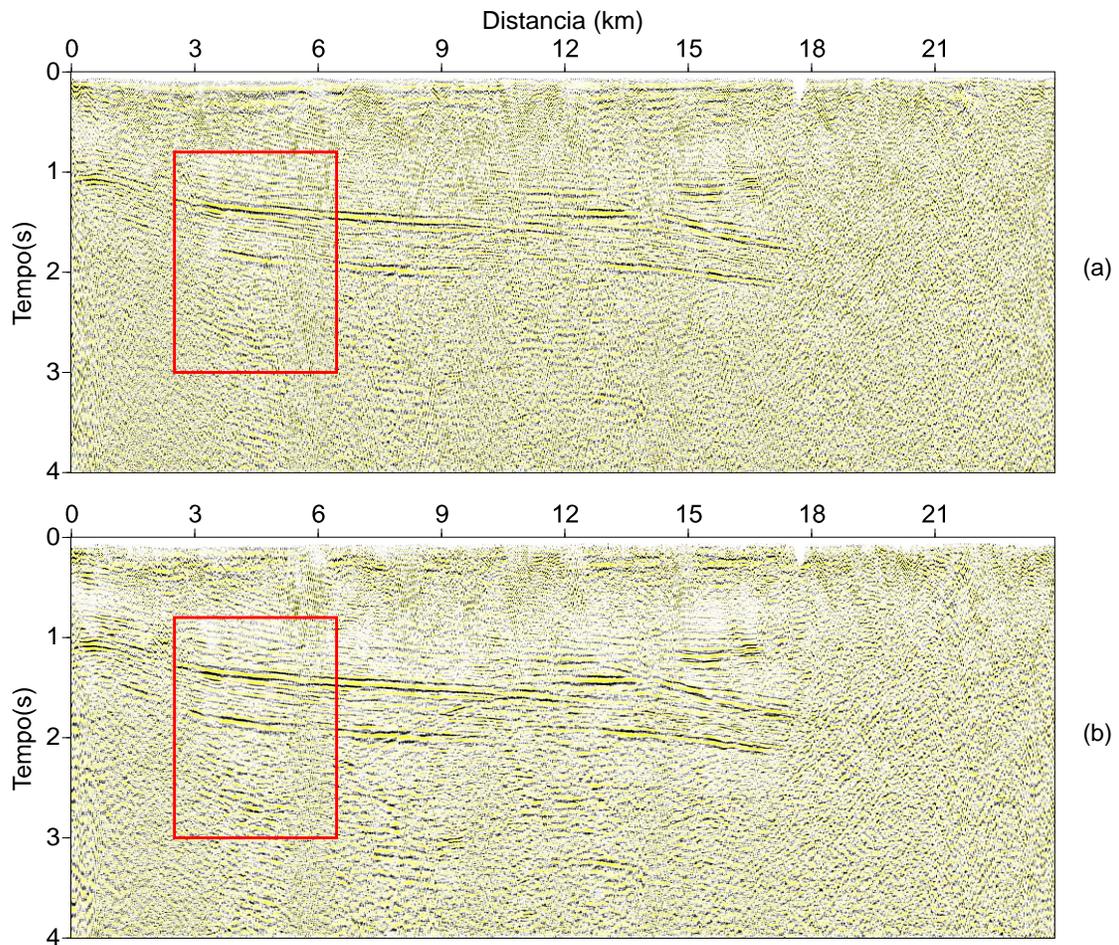


Figura 7: Seções empilhadas. Dado original (a), e dado filtrado SVD usando o operador cruz (b).

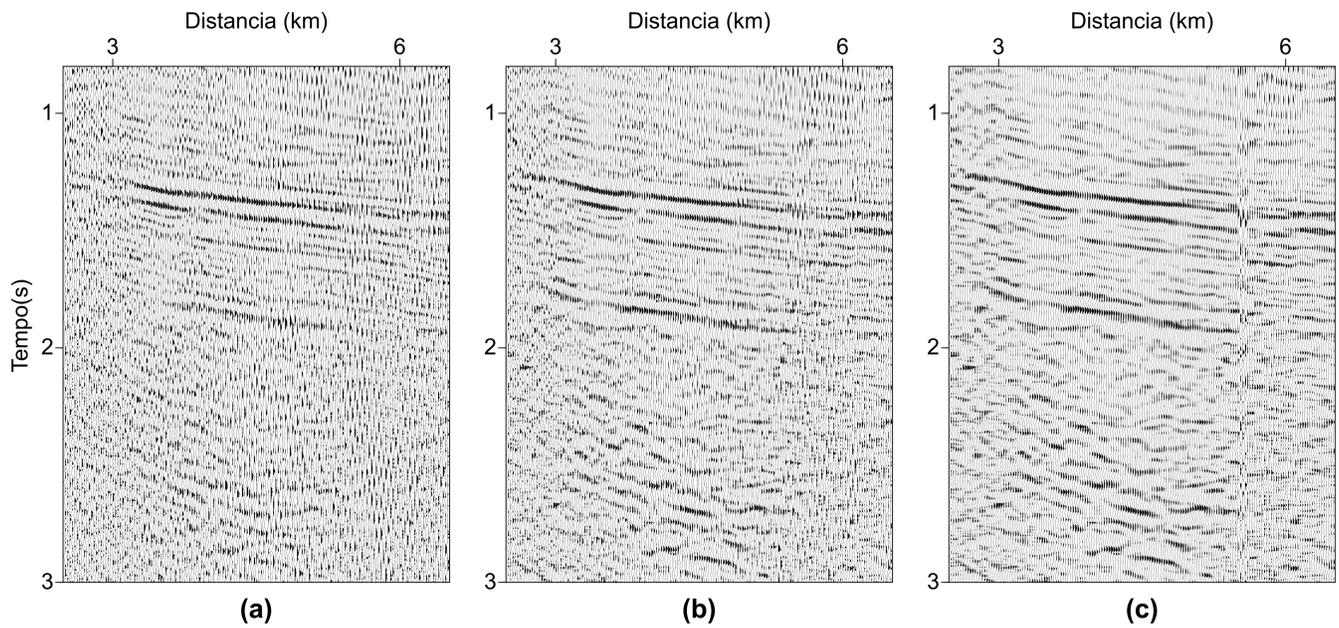


Figura 8: Detalhes das seções empilhadas. Dado original (a), dado filtrado SVD usando o operador cruz (b) e dado filtrado SVD pos-empilhamento c).