



## Atenuação do *ground-roll* utilizando a transformada radial e decomposição SVD

Rafael R. Manenti, Michelângelo G. da Silva e Milton J. Porsani, 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

A Transformada Radial é uma técnica que faz o mapeamento das amplitudes dos traços sísmicos ao longo de linhas radiais. Os dados sísmicos são transformados do domínio distância-tempo (XT) para o domínio ângulo-tempo (RT). Eventos lineares, mapeados na direção de sua inclinação, são representados no domínio RT como relativamente suaves e característicos de sinais de baixa frequência. Esta reorganização das amplitudes possibilita filtrar os sismogramas ao longo de um ângulo determinado (filtragem monocanal) ou de um setor de ângulo (filtragem multicanal). Por outro lado a decomposição em valores singulares, também conhecida com decomposição SVD (*singular value decomposition*) pode ser empregada como um filtro de coerência, normalmente aplicado no domínio XT. No presente trabalho testamos o método de decomposição SVD no domínio radial para atenuação do *ground-roll* de uma linha sísmica terrestre da Bacia do Tacutu. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios.

### Introdução

No processamento sísmico, o *ground-roll* deve ser atenuado pois mascaram as reflexões. As principais características do *ground-roll* é a baixa frequência, baixa velocidade e alta amplitude sísmica. A presença do *ground-roll* dificulta a análise de velocidades e prejudica a qualidade da seção sísmica obtida como resultado final do processamento sísmico.

O método da Transformada Radial pode ser de bom uso no processamento de dados sísmicos, pois faz uma reorganização das amplitudes presentes nos traços, reamostrando os sismogramas ao longo de ângulos. Este mapeamento para o domínio radial preserva as reflexões de interesse e atenua os eventos lineares associados ao *ground-roll*.

A Transformada Radial foi desenvolvida por Claerbout (1983) e Ottolini (1979), onde era usada em técnicas de migração e imageamento. Henley (1999,2000) propôs a utilização da Transformada Radial para a atenuação de ruído coerente, onde um ruído linear, distribuído em vários traços no domínio XT pode ser discretizado em apenas alguns traços no domínio RT, sendo esse ruído capturado efetivamente. Henley (2000) utilizou para atenuação de ruído coerente o filtro corta-baixa no domínio RT.

O método de filtragem SVD (*singular value decomposition*) tem importantes aplicações no processamento de dados sísmicos. A filtragem SVD tem sido aplicada para melhorar a coerência e continuidade espacial dos refletores, tornando mais evidente as reflexões, e também para atenuar diferentes tipos de ruídos (Freire, 1986, Bekara & van der Baan, 2007, Porsani et al., 2009). O método de filtragem SVD proposto por Porsani et al. (2009) trabalha com uma janela móvel de traços tomados de sismogramas corrigidos de NMO. A correção de NMO horizontaliza as reflexões primárias e o traço central associado às primeiras autoimagens são utilizados para enfatizar as reflexões primárias. O método dá bons resultados quando aplicado para a atenuação do *ground-roll*, entretanto requer que os dados tenham sido corrigidos de NMO.

Neste trabalho testamos o método SVD no domínio RT para a atenuação do *ground-roll*. Eventos com características lineares como o *ground-roll*, podem ser bem mapeados através da transformada radial.

### Transformada Radial

A Transformada Radial é um simples mapeamento das amplitudes dos traços sísmicos  $S(x,t)$ , cujas coordenadas são a distância entre fonte e receptor  $x$ , e o tempo de trânsito  $t$ , passando-as para as novas coordenadas, velocidade aparente  $v$  e tempo de trânsito  $t'$ . A definição da transformada radial direta (TRD) é dada por:

$$\mathbf{R}\{S(x,t)\} = S'(v,t'), \quad (1)$$

e a sua inversa (TRI) é dada por

$$\mathbf{R}^{-1}\{S'(v,t')\} = S(x,t), \quad (2)$$

onde

$$t' = t - t_0, v = \frac{x - x_0}{t - t_0}. \quad (3)$$

Os elementos  $x_0$  e  $t_0$  são as coordenadas da origem da transformada RT, de onde irão divergir os traços do domínio RT. Este ponto pode ser escolhido, e não precisa ser necessariamente o ponto de origem do tiro no domínio XT. A Figura 4 ilustra que podemos transformar o dado para o domínio RT e voltarmos ao domínio XT preservando os eventos existentes no dado original.

Para implementação da Transformada Radial Direta e Inversa precisamos reamostrar os dados. Para tanto utilizamos a seguinte equação para interpolar os dados originais,

$$\tilde{A} = \omega_1 A_1 + \omega_2 A_2, \text{ onde} \quad (4)$$

$$\omega_i = \frac{d_i^{-2}}{d_1^{-2} + d_2^{-2}} \quad (5)$$

$d_1$  e  $d_2$  representam as distâncias ao longo da variável  $x$ , entre pontos adjacentes, à esquerda e à direita, do ponto onde se deseja interpolar.

O uso da equação 5 apresentou bons resultados, não gerando perdas significativas entre o dado inicial e o dado final (após a transformada inversa). Conforme ilustrado na Figura 1, observa-se uma boa concordância entre os espectros de amplitude médio dos dado original e do dado final.

### Filtragem SVD

O método SVD consiste em decompor uma matriz  $A$  em duas matrizes ortonormais (matrizes dos autovetores) e uma matriz com seus valores singulares na diagonal principal, de modo que temos a condição:

$$A = U\Sigma V^T, \quad (6)$$

onde  $U$  e  $V$  são matrizes ortonormais e  $\Sigma$  uma matriz com os valores singulares de  $A$ .  $\sigma_i$  são os valores singulares de  $A$ , sendo organizados na forma decrescente de magnitude, ou seja:  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n$ .

Seguindo o procedimento proposto por Porsani et al. (2009), para cada traço de uma seção sísmica que desejamos filtrar, podemos coletar um subconjunto de traços imediatamente vizinhos, utilizar a decomposição SVD da matriz correspondente e fazer uma restituição parcial do traço, utilizando apenas as  $K$  primeiras autoimagens,

$$\tilde{d}(t, x_j) = \sum_{k=1}^K \sigma_k u_k(t) v_k(x_j). \quad (7)$$

Os valores pequenos de  $K$  produzirão traços e seções de maior coerência espacial. A escolha apropriada do valor  $K$  permite utilizar o método como um método de filtragem que enfatiza ou remove eventos coerentes.

### Aplicação e Resultados

Com o objetivo de atenuar o *ground-roll*, empregando o método SVD no domínio radial foi utilizado um registro de tiro da linha terrestre 204-247 da Bacia do Tacutu, que possui 96 traços, intervalo de amostragem de 4 ms e adquirido com o arranjo do tipo *split-spread* não simétrico. Esse dado é fortemente contaminado pelo *ground-roll*, que dificulta a detecção da continuidade dos eventos de reflexão, principalmente na região central do sismograma vide Figura 4a.

A aplicação do método SVD no domínio radial dos traços segue as etapas do fluxograma apresentado na Figura 2. Nas etapas iniciais, preparamos o dado para a transformação radial dos traços. Primeiramente, foi feita a leitura do registro de tiro e o pré-processamento básico, envolvendo, a definição da geometria, edição de traços ruidosos e mute da região contaminada com ruído eletrônico. Após essas etapas, obtemos o tiro da Figura

4a. A etapa seguinte do fluxo de processamento foi a transformação do registro de tiro para o domínio RT, ou seja, a aplicação da transformada radial direta (TRD), usando uma abertura angular de 25 graus (ângulo inicial 75 e final 100), o traço 20 como ponto da fonte ( $x_0$ ) e o tempo inicial de 52 ms ( $t_0$ ). O dado transformado pode ser observado na Figura 4b, e possui 500 traços, devido ao intervalo de amostragem angular empregado, de 0.05 graus. Comparando a Figura 4a e Figura 4b, vemos que no domínio XT, o *ground-roll*, está presente em todos os traços, enquanto no domínio RT, encontra-se entre os traços 150 e 270.

As etapas posteriores do fluxograma executado correspondem a filtragem do *ground-roll* com o método SVD, a transformação radial inversa (TRI), organização CMP, análise de velocidades, a correção *normal move-out* (NMO), e a etapa de empilhamento dos tiros, gerando a seção empilhada. A etapa de filtragem do *ground-roll* foi realizada aplicando-se o método SVD com janela móvel de 5 traços, gerando a decomposição em cinco autoimagens no domínio RT. Em seguida à filtragem, retornamos os dados para o domínio XT, aplicando-se para a primeira autoimagem a transformada radial inversa (TRI). A Figura 5, apresenta o dado original e os sismogramas de tiro, correspondente à primeira autoimagem geradas com o método SVD e o resíduo retirado do tiro original. Ao analisarmos a banda de baixa frequência (5-15hz) do dado (Figura 3), verificamos no espectro de amplitude médio do tiro filtrado com a primeira autoimagem, que existe uma queda mais acentuada das amplitudes associadas ao *ground-roll*, em comparação, à curva do espectro médio do resíduo.

Podemos analisar também a Figura 6, onde o espectro de velocidade do *supergather* filtrado possui picos mais bem definidos (Figura 6b) do que no espectro de velocidade do *supergather* original, facilitando então a análise de velocidades do dado.

Após a filtragem e a aplicação da TRI, organização CMP e análise de velocidades, chega a etapa de correção NMO, horizontalizando os eventos, para então fazer o empilhamento dos tiros. Na Figura 7 podemos ver a seção empilhada original (Figura 7a) e após a filtragem SVD (Figura 7b). Nota-se uma melhora na seção, realçando reflexões que não eram bem mostradas anteriormente. A Figura 8 mostra uma janela da seção original e após filtragem, mostrando em escala de detalhe a melhora do dado.

### Conclusões

A Transformada Radial combinada com a filtragem SVD representam uma boa alternativa para a filtragem de eventos lineares. A aplicação do método sobre dados sísmicos reais da Bacia do Tacutu possibilitou melhorar a resolução do espectro de velocidades bem como melhorar a qualidade da seção sísmica empilhada final. A atenuação do *ground-roll* através da filtragem SVD no domínio Radial se mostra como mais simples de aplicar, comparada ao procedimento proposto por Porsani, 2009, já que dispensa a correção NMO.

**Referências**

Bekara, M. e Baan, M. V. (2007) Local singular value decomposition for signal enhancement of seismic data, *Geophysics*, 72, pp. 59-65.

Claerbout, J. F.; (1983) *Ground-Roll and Radial Traces.*, Stanford Exploration Project Report, SEP-35, pp. 43-53.

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.

Henley, D. C.; (1999) The radial trace transform: an effective domain for coherent noise attenuation and wavefield separation., In: *Expanded Abstract, 69th Annual SEG Meeting.*, pp. 1204-1207, SEG.

Henley, D. C.; (2000) More radial trace domain applications., *Crewes Research Report Volume 12*, pp. 1-14.

Ottolini, R.; (1979) *Migration of Radial Trace Sections.*, Stanford Exploration Project Report, SEP-20, pp. 97-115.

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.

**Agradecimentos**

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.

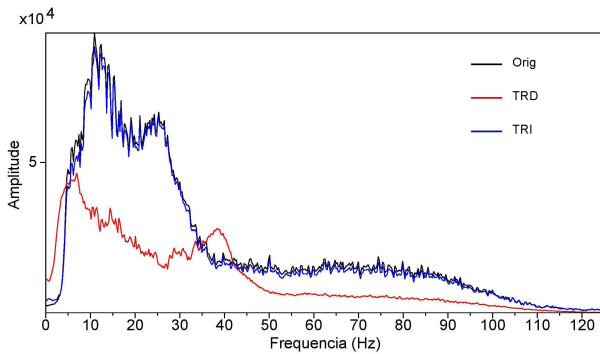


Figura 1: Espectros de amplitude médio. Espectro do tiro original em (a), espectro do tiro após a transformada radial direta em (b), espectro do tiro após a transformada radial inversa em (c).

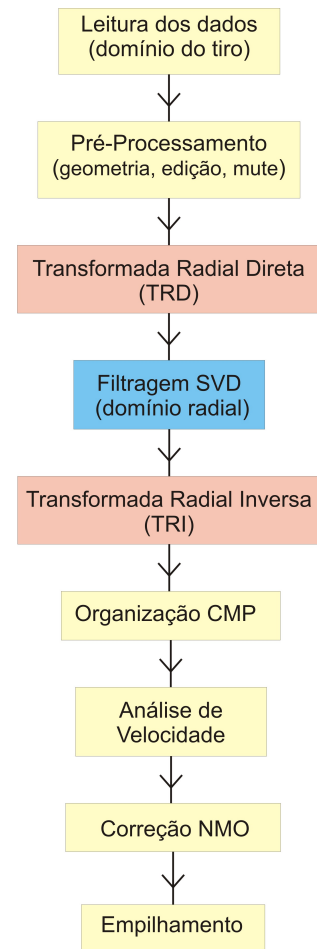


Figura 2: Fluxograma utilizado para atenuação do *ground-roll* aplicando o método SVD no domínio RT

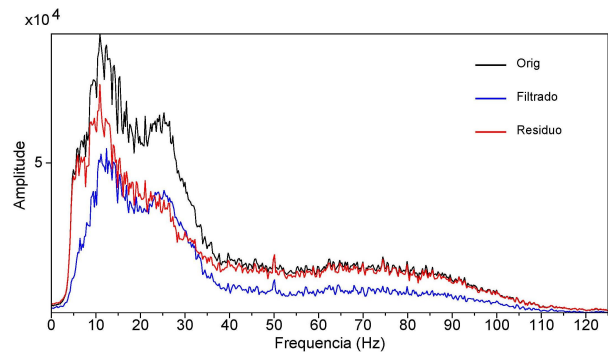


Figura 3: Espectro de amplitude médio. Espectro do tiro original em (a), espectro do tiro filtrado com SVD e espectro do residuo.

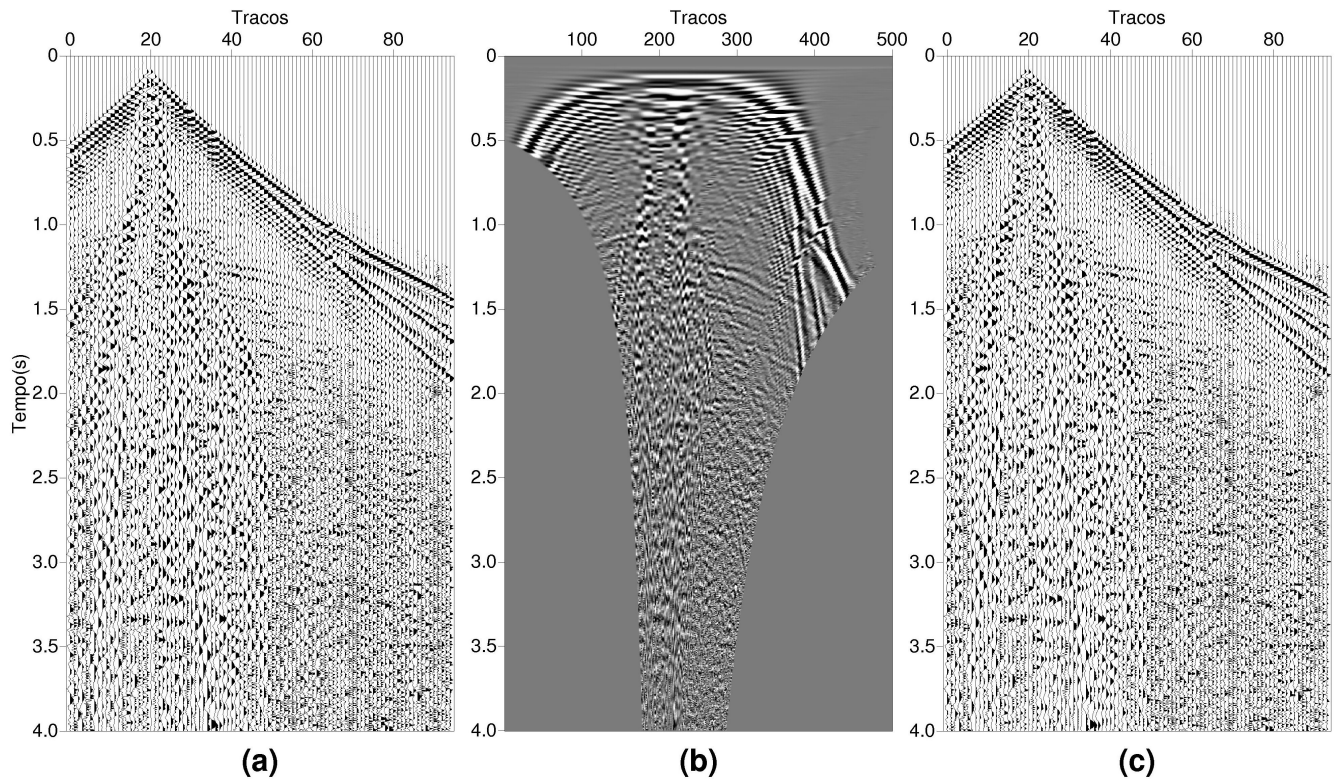


Figura 4: Sismogramas nos domínios XT e RT. Família de ponto de tiro comum no domínio XT em (a), no transformado RT e resultado da transformada radial inversa em (c).

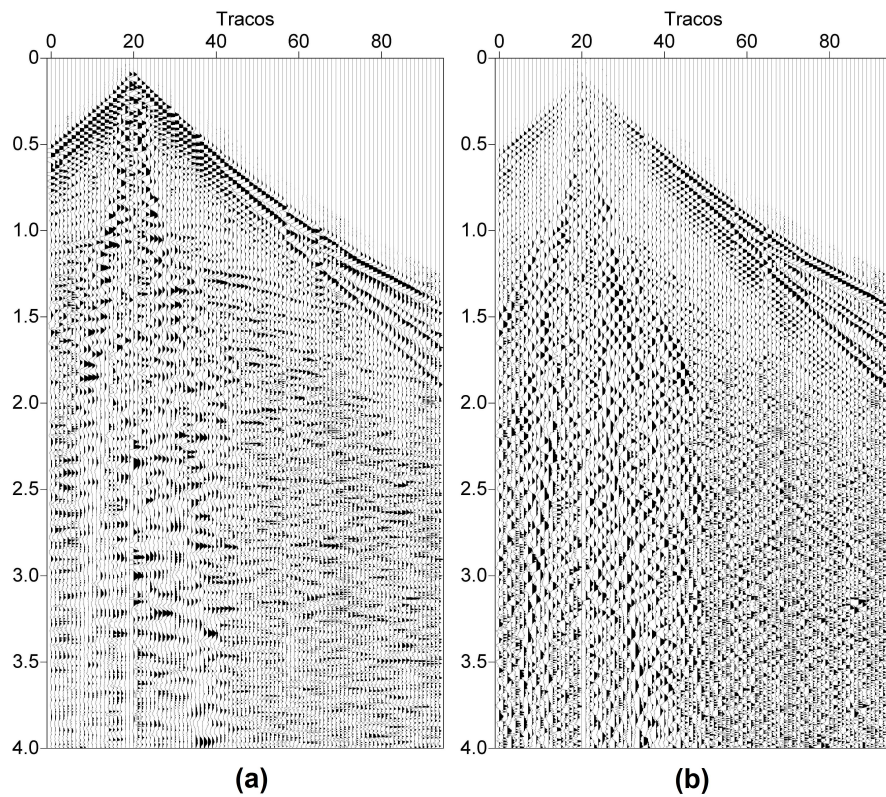


Figura 5: Filtragem dos sismogramas da Fig. 4 utilizando SVD no domínio RT em (a) e resíduo entre (b).

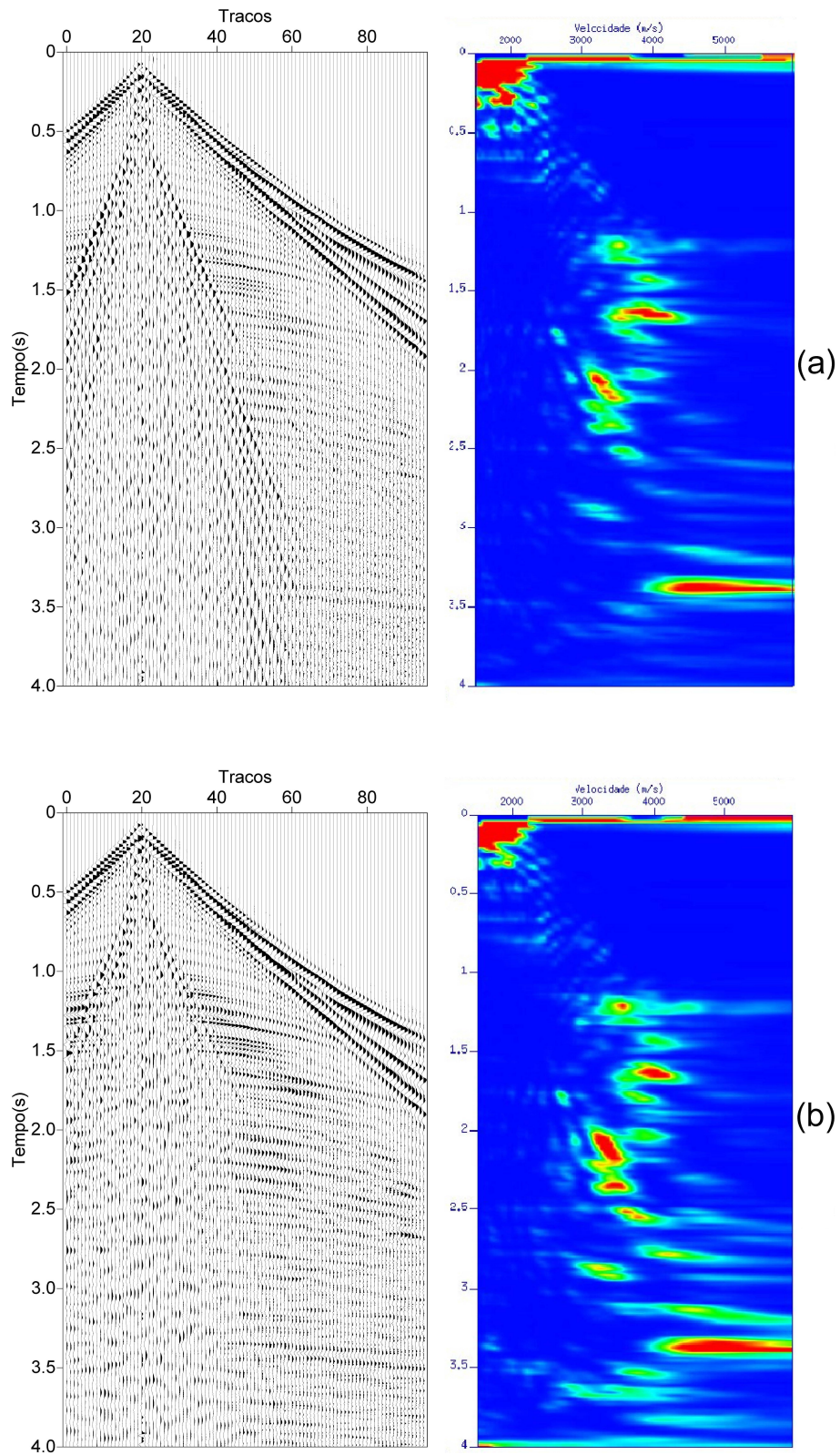


Figura 6: Espectros de velocidades de um *supergather* formados a partir de 10 famílias de traços. Original em (a) e filtrado em (b).

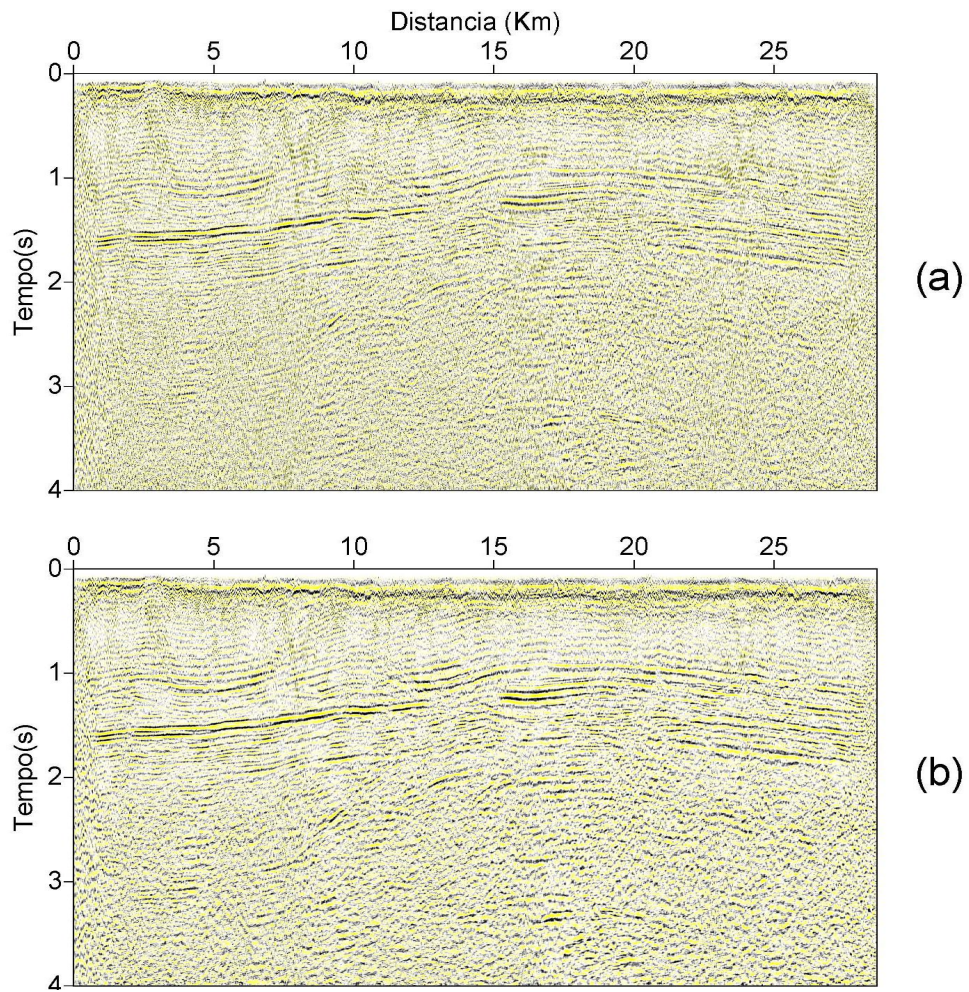


Figura 7: Seção empilhada. Original em (a) e empilhada após a filtragem SVD no domínio RT em (b).

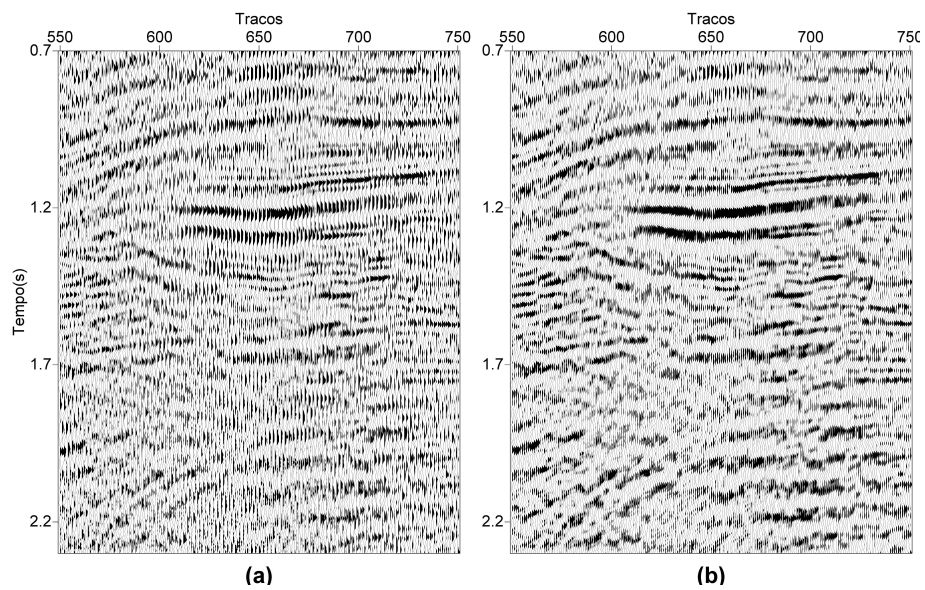


Figura 8: Detalhe da seção empilhada. Original em (a) e filtrada em (b).