



## Atenuação do *ground roll* utilizando filtragem SVD

Carlos Américo Reis Cardoso e Milton José Porsani, CPGG-UFBA e INCT-GP/CNPQ/MCT

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV 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

O *ground roll* age mascarando as reflexões de interesse, prejudicando seriamente a qualidade dos sismogramas, interferindo nas etapas posteriores do processamento sísmico e de interpretação das seções sísmicas. A atenuação desse ruído resultará em seções sísmicas de melhor qualidade. Neste trabalho apresentamos um método de filtragem que utiliza a decomposição em valores singulares SVD (*Singular Value Decomposition*). Essa decomposição é aplicada sobre os sismogramas no domínio do tiro, no domínio do *offset* e aplicando também de forma sucessiva, ou seja, em um e posteriormente em outro. Quando aplicado nos sismogramas de família de ponto de tiro é necessária a aplicação da correção de *normal move out* (NMO). Esta correção horizontaliza as reflexões de interesse. A decomposição é realizada em um conjunto de traços de uma janela móvel que é deslocada do primeiro ao último traço. Apenas o traço central da primeira autoimagem de cada janela é preservado. Este traço contém os eventos de maior coerência horizontal. Realizamos a filtragem SVD em uma linha sísmica terrestre da Bacia do Recôncavo. O método se mostra eficaz, o melhor resultado vem da combinação da aplicação no domínio do *offset* e depois no domínio do tiro. Esse resultado apresenta melhores resultados quando comparado com o método f-k.

### INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios do método sísmico é a atenuação ou retirada dos ruídos, ou seja, dos eventos que não são de interesse para a definição das estruturas em subsuperfície. O aprimoramento de novos filtros é de grande importância para o processamento de dados sísmicos. Neste trabalho atacamos o *ground roll*, também chamado ruído de rolamento superficial, ocorre nos dados sísmicos terrestres e regiões de água rasa, é originado pela componente vertical das ondas superficiais

Rayleigh e possui alta amplitude, baixa frequência e baixa velocidade. O *ground roll* é dispersivo, coerente e mascara as reflexões de interesse. O método convencional mais utilizado na filtragem desse ruído é o método f-k que é aplicado no domínio frequência x número de onda. O método f-k age de forma cirúrgica, removendo a as amplitudes do ruído. Este tipo de filtragem além de aniquilar o ruído também remove o sinal de baixa frequência. Com o aprimoramento de novos filtros buscamos sempre manter a maior parte do sinal, inclusive o de baixa frequência. Muitos novos métodos de filtragem do *ground roll* têm sido propostos nos últimos anos. O método SVD tem sido utilizado de diversas formas na melhoria da razão sinal/ruído dos dados sísmicos como em (Freire e Ulrych, 1988).

Neste trabalho testamos uma filtragem que utiliza a decomposição SVD. Essa decomposição é aplicada sobre os sismogramas no domínio do tiro, no domínio do *offset* e aplicando também de forma sucessiva, ou seja, em um e posteriormente em outro. O melhor resultado surgiu da aplicação do filtro SVD no domínio do *offset* sem a correção normal move out (NMO), depois pegamos esse dado filtrado e aplicamos a correção NMO e aplicamos novamente o filtro SVD no domínio do tiro. Usamos uma linha sísmica da Bacia do Recôncavo muito ruidosa, bem contaminada pelo *ground roll* e os resultados foram muito bons em relação ao método de filtragem f-k.

### METODOLOGIA/ PROBLEMA INVESTIGADO

O interesse da filtragem é retirar todos os ruídos e preservar as reflexões. Primeiro organizamos o dado no domínio do *offset* sem a correção de NMO e aplicamos o filtro SVD. Posteriormente pegamos esse dado já filtrado e aplicamos a correção NMO e organizamos no domínio do tiro. Este dado corrigido de NMO é novamente filtrado, agora no domínio do tiro com intuito de remover o *ground roll* que não foi completamente removido na primeira filtragem.

Consideremos o dado real  $d(t, x_n), t = 1, \dots, N_t, n = 1, \dots, N_x$ , de modo que os eventos refletidos serão alinhados ao longo do eixo x. Com o objetivo de reforçar o sinal coerente ao longo do eixo x, realizamos a decomposição SVD de um sub-conjunto de dados  $d(t, x_n), n = n_0 - M, \dots, n_0, \dots, n_0 + M$ . Esta decomposição SVD pode ser expressa como (Golub and van Loan, 1996).

$$d = U \begin{bmatrix} \Sigma \\ 0 \end{bmatrix} V^T \quad (1)$$

onde  $\Sigma = \text{diag}\{\sigma_1, \dots, \sigma_{2M+1}\}$  com  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_{2M+1} \geq 0$ . As matrizes  $U$  de dimensão  $N_t \times N_t$  e  $V$  de dimensão  $(2M+1)$  são unitárias tal que  $U^{-1} = U^T$  e  $V^{-1} = V^T$ . De outra forma podemos representar:

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

onde  $j = -M + n_0, \dots, M + n_0$ . O dado filtrado contém apenas a primeira autoimagem do traço central,  $K = 1$ .

$$\bar{d}(t, x_{n_0}) = \sum_{k=1}^K \sigma_k u_k(t) v_k(x_{n_0}) \quad (3)$$

Em cada filtragem essa operação é realizada sobre todos os dados com um avanço da janela de um traço na direção do eixo  $x$ . A cada nova posição da janela uma nova decomposição SVD é realizada e um novo traço filtrado é obtido através da equação (3). No início e no final dos dados, são preservados o primeiro e último  $M + 1$  correspondente à primeira autoimagem. O resultado é o dado filtrado  $\bar{d}(t, x_n)$  com a mesma dimensão dos dados de entrada. Tanto o caráter quanto a amplitude relativa dos eventos horizontais são bem preservados uma vez que representa a primeira autoimagem que possui maior energia.

## RESULTADOS

Foi realizada a filtragem SVD na linha sísmica terrestre 26-RL-930 na Bacia do Recôncavo. A linha contém 175 tiros com intervalo de amostragem de 4 ms. A aquisição foi feita com 48 canais com a geometria *split-spread*. A distância entre os geofones foi de 50 m, gerando uma baixa cobertura CMP de 2400 %. Inicialmente foi feito um pré-processamento em fizemos a geometria, edição de alguns traços e a correção da divergência esférica, análise de velocidade e organizamos o dado no domínio do *offset* e aplicamos a primeira filtragem.

Depois organizamos o dado em CMP, aplicamos a correção NMO, organizamos no domínio do tiro, aplicamos a segunda filtragem e o empilhamento. O fluxograma de processamento está representado na Figura 1. Nas duas aplicações foram utilizadas uma janela de 5 traços e preservamos apenas a primeira autoimagem ( $k=1$ ).

A Figura 2a mostra o tiro 124 do dado original muito contaminado com o *ground roll*, a Figura 2b mostra o resultado da primeira filtragem (no domínio do *offset*) com uma moderada atenuação do ruído e a Figura 2c com a completa atenuação do mesmo. Muitas reflexões antes mascaradas são reveladas após a filtragem. Na Figura 3 podemos observar o espectro de amplitude do tiro 124 original, do tiro 124 resultado da primeira filtragem no domínio do *offset* sem a correção NMO e o resíduo da filtragem. Essa figura mostra que a filtragem atenua significativamente as amplitudes de baixa frequência, mas



Figura 1: Fluxograma de processamento.

preserva uma parte que contém o sinal. Na Figura 4 temos o espectro de amplitude do tiro 124 do dado filtrado com a primeira filtragem (no *offset*), do tiro 124 com as duas filtrações (no *offset* mais a aplicação no tiro) e o resíduo da filtragem. esta figura mostra novamente que a filtragem atenua as baixas frequências mais mantém parte significativa do sinal.

Nas Figuras 5, 6 e 7 mostram as seções empilhadas, na Figura 5 temos a seção empilhada do dado original, na Figura 6 a seção empilhada após a filtragem f-k e na figura 7 a seção empilhada depois das aplicações (no domínio do *offset* mais no domínio do tiro) da filtragem SVD. Pode-se perceber e melhor definição e continuidade lateral dos eventos e o aparecimento de estruturas antes não visíveis devido ao ruído.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A decomposição em valores singulares representa uma ferramenta potente no processamento de dados sísmicos. Na filtragem pode ser aplicada de diversas formas. O desenvolvimento e o aprimoramento de novos filtros sísmicos são de grande importância para a interpretação de estruturas em subsuperfície e para a indústria de petróleo e gás. O filtro SVD apresentado nesse trabalho foi eficaz na atenuação do *ground roll*, conseguiu revelar reflexões antes mascaradas. Os espectros de

freqüência mostraram que a baixa freqüência foi atenuada mas não aniquilada como acontece na filtragem f-k. Como resultado final, a linha 26-RL-930 empilhada apresenta melhor resolução temporal, melhor continuidade lateral e definição dos eventos.

#### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos o apoio financeiro concedido pelo INCT-GP/CNPQ/MCT, FINEP, PETROBRAS, FAPESB, CAPES, à Paradigm Geophysical pela licença do software de processamento sísmico (Focus) e a Landmark pela licença dos softwares Seispace e Seisworks. A Michelângelo pela ajuda em vários momentos.

#### **REFERÊNCIAS**

Telford, W.M. (willian Murray). Applied Geophysics Cambridge-2nd ed.

Yilmaz, O, 2001. Seismic Data Analysis Society Exploration, Tulsa, USA

H. Karsh, Y. Bayrak / Journal Applied Geophysics 55 (2004) 187-197.

Quézia C. dos Santos, 2007, Atenuação do *ground roll* utilizando filtro não-causal tipo Wiener-Levinson.

Silva, Michelângelo Gomes da, 2004, Processamento de dados sísmicos da Bacia do Tacutu. Dissertação de mestrado CPGG-UFBA.

Melo, Paulo Espinheira Menezes de, 2007, Novos métodos de filtragem de dados sísmicos de reflexão . Tese de doutorado CPGG-UFBA.

Freire, Sérgio L. M., 1986, Aplicações do método de decomposição em valores singulares no processamento de dados sísmicos.

Porsani, M. J.; Melo, P. E. M.; Silva, M. G.; Ursin B. , 2009, Filtragem do *ground roll* utilizando SVD.

Golub, G. H., and C. F. V. Loan, 1996, Matrix computations: Johns Hopkins University Press.

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

## FILTRAGEM DO *GROUND ROLL* UTILIZANDO SVD

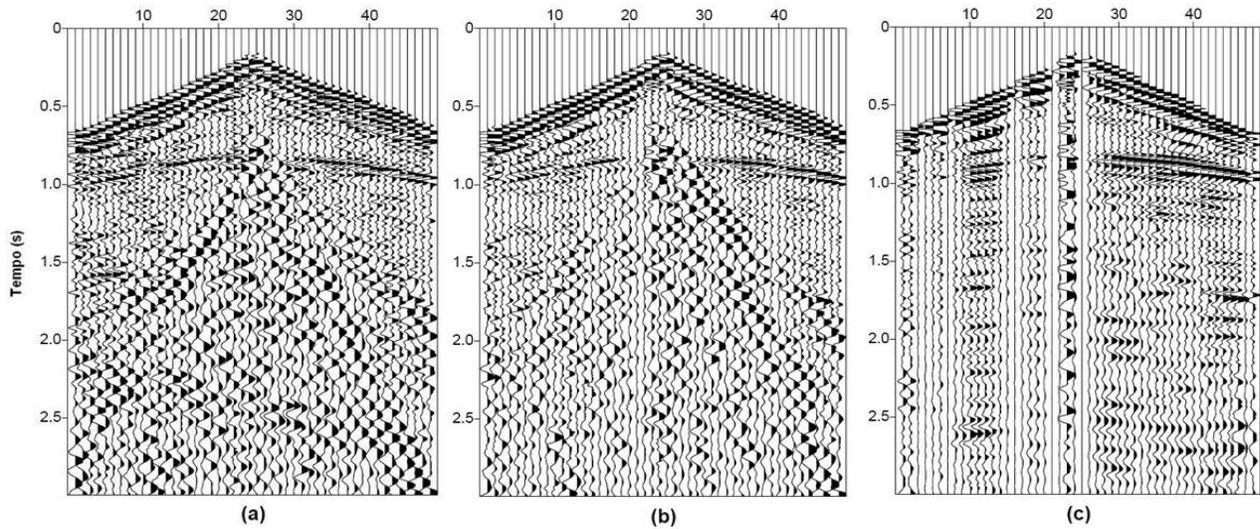


Figura 2: Análise da atenuação do *ground roll*, em (a) o tiro 124 do dado original, em (b) o mesmo tiro resultado da primeira filtragem (no *offset*) e em (c) o mesmo tiro resultado da segunda aplicação (no tiro) do filtro SVD.

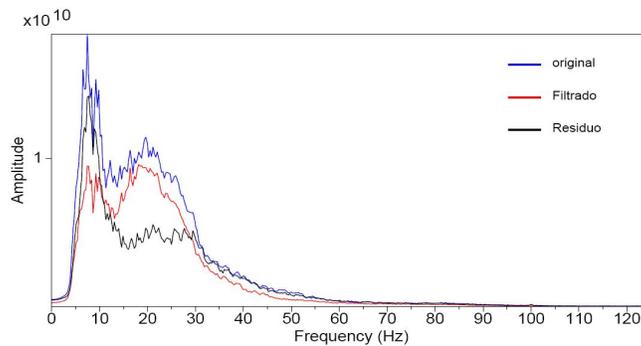


Figura 3: : Espectro de amplitude do tiro 124, em azul o tiro original, em vermelho o filtrado no domínio do *offset* e em preto o resíduo.

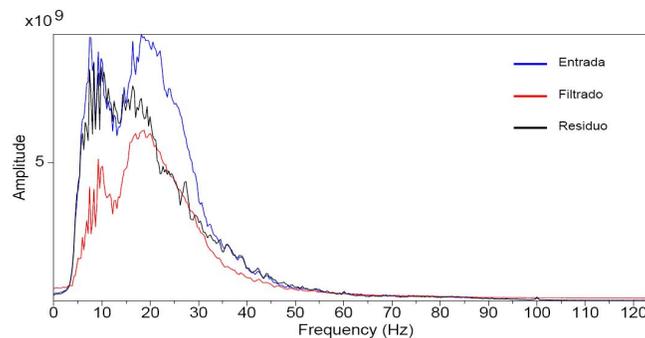


Figura 4: Espectro de amplitude do tiro 124, em azul o dado resultante da primeira filtragem, em vermelho o resultante da segunda filtragem e de preto o resíduo.

## FILTRAGEM DO *GROUND ROLL* UTILIZANDO SVD

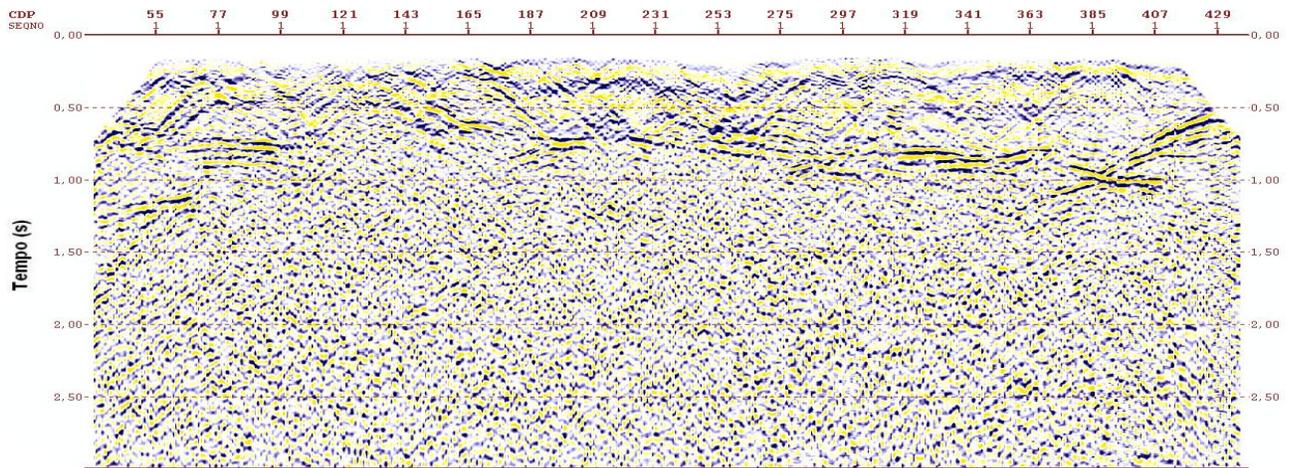


Figura 5: Seção empilhada do dado original

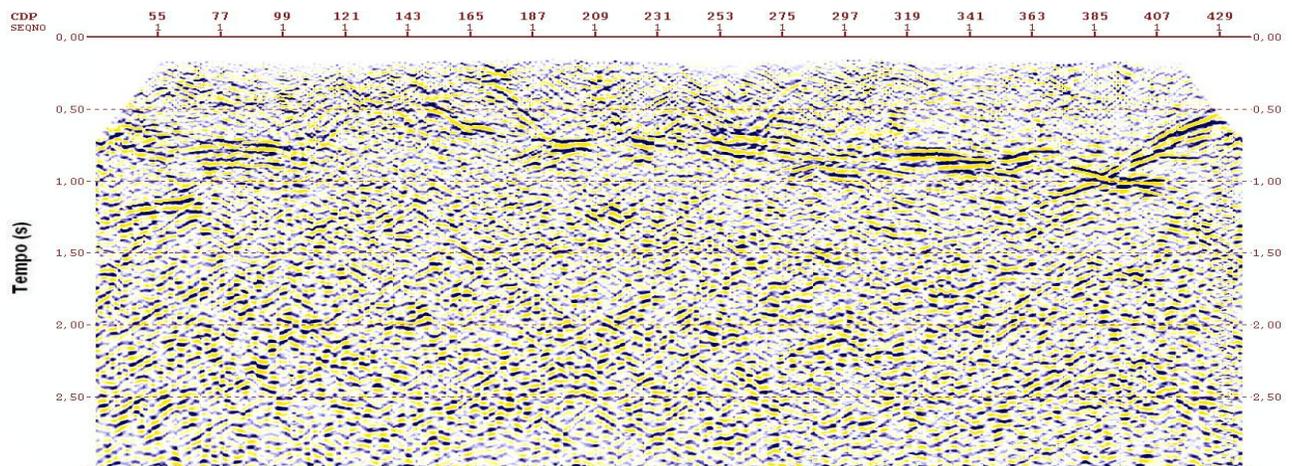


Figura 6: Seção empilhada após a filtragem f-k.

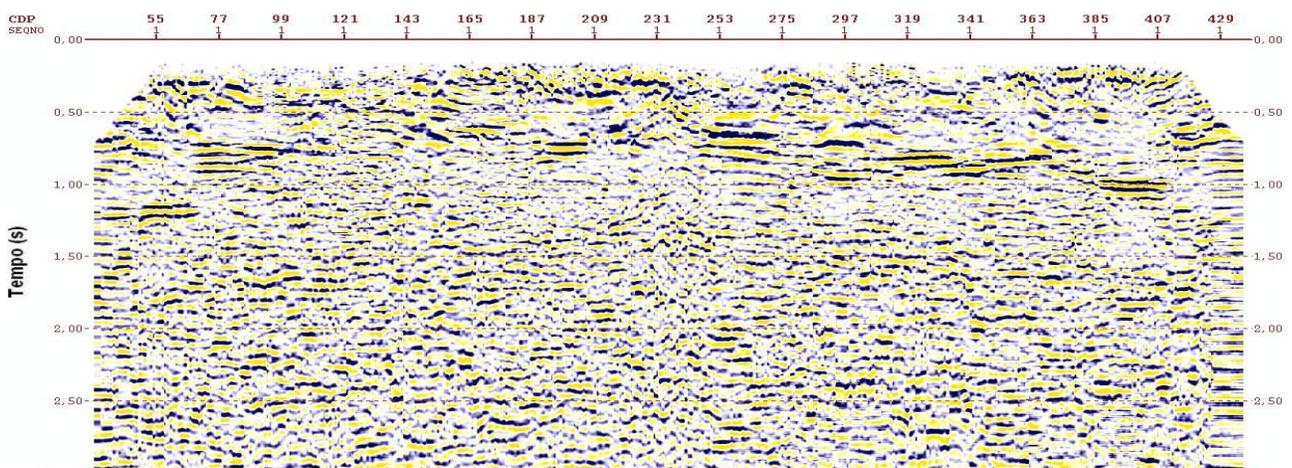


Figura 7: Seção empilhada após a segunda filtragem SVD.