

FILTRAGEM SVD APLICADA À MELHORIA DO RASTREAMENTO DE HORIZONTES SÍSMICOS

Milton J. Porsani¹, Fredy A.V. Artola², Michelângelo G. da Silva¹ e Paulo E.M. de Melo¹

Recebido em 9 dezembro, 2009 / Aceito em 7 abril, 2010
Received on December 9, 2009 / Accepted on April 7, 2010

ABSTRACT. We present an application of a singular value decomposition (SVD) filtering approach to the automatic detection of seismic horizons. The SVD filtering approach may be seen as a multichannel filtering method where each filtered seismic trace retains the coherence of the neighbouring seismic traces. The SVD filtering preserves the amplitude and phase relations and reinforces the spacial correlation between seismic events, and at the same time it reduces the incoherent noise in data, which normally is associated to the last eigenvalues. The SVD decomposition is performed on each subset of traces around each trace of the original 2D or 3D seismic data. The filtered trace is obtained from the most important eigenvalues and eigenvectors. We illustrate the application of the new approach on 3D post-stack land seismic data. The improvement of the resultant coherence in the seismic reflected events allows for greater autotracking robustness during the automatic interpretation of the seismic horizons. The SVD filtering approach is computationally efficient and improves significantly the coherence, the consistency and the spacial continuity of the seismic events making easier the automatic detection of the commercial software in the search for patterns along the autotracking process.

Keywords: automatic mapping of horizons, seismic processing, SVD filtering, tracking horizons seismic.

RESUMO. No presente artigo apresentamos uma aplicação da filtragem SVD (*Singular Value Decomposition*) para o mapeamento automático de horizontes sísmicos. A filtragem SVD pode ser vista como um método de filtragem multicanal onde cada traço filtrado guarda certo grau de coerência com os traços imediatamente vizinhos. Esta filtragem preserva as relações de amplitude, fase e correlação espacial dos eventos sísmicos, ao tempo em que permite eliminar o ruído incoerente, normalmente associado aos últimos autovalores. A decomposição SVD é realizada sobre o subconjunto de traços vizinhos a cada traço da linha sísmica 2D ou de um volume 3D. O traço filtrado é obtido utilizando apenas alguns dos autovetores e autovalores associados. Ilustramos a aplicação do método sobre dados sísmicos terrestres. A melhoria da coerência dos eventos sísmicos permitiu maior robustez ao *autotracking* no mapeamento e interpretação automática dos horizontes sísmicos. A filtragem SVD é computacionalmente eficiente e tem o mérito de melhorar significativamente a coerência, a consistência e a continuidade dos eventos de reflexão facilitando muito o "trabalho", do *tracker* na busca de padrões no processo de *autotracking*.

Palavras-chave: mapeamento automático de horizontes, processamento sísmico, filtragem SVD, rastreamento de horizontes sísmicos.

¹Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Campus Universitário da Federação, Salvador, BA, Brasil – E-mails: porsani@cpogg.ufba.br; mgs@cpogg.ufba.br; pemm@cpogg.ufba.br

²Schlumberger, Av. Presidente Wilson, 231, 20° andar, Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: fartola@slb.com

INTRODUÇÃO

Uma técnica importante de interpretação sísmica é o rastreamento de horizontes. Os métodos modernos de interpretação sísmica são realizados com o auxílio de computadores utilizando ferramentas automáticas ou semi-automáticas que dentre outras funções efetuam o rastreamento e conseqüente mapeamento de feições geológicas tais como horizontes sísmicos, estruturas e falhas. O rastreamento de um horizonte em uma seção sísmica 2D ou volume sísmico 3D consiste em identificar em quais traços e em quais amostras o horizonte está presente. As dificuldades encontradas são principalmente a baixa razão Sinal/Ruído, a proximidade e interferência entre vários horizontes distintos e a complexidade da geologia e estruturas tais como falhas geológicas. A funcionalidade das ferramentas de interpretação sísmica é fortemente dependente da qualidade do dado sísmico, seja no âmbito da interpretação estrutural ou estratigráfica. As técnicas automáticas de interpretação são muito importantes na cartografia de eventos sísmicos e o subsequente cálculo de atributos sísmicos volumétricos ou vinculados a horizontes. A prática habitual é relacionar estes atributos às propriedades das rochas da subsuperfície; assim, várias inferências podem ser realizadas com relação à litologia, estratigrafia, conteúdo de fluidos, por exemplo. A interpretação manual de horizontes demanda um tempo excessivo do geocientista, principalmente em grandes volumes de dados sísmicos tridimensionais. Há muitas dificuldades na aplicação de técnicas de interpretação automática em dados que revelam variações laterais da relação Sinal/Ruído assim como variações da severidade de problemas de estática, nestes casos os *trackers* não conseguem “fazer o trabalho”, e se perdem no meio de eventos não vinculados à reflexão em questão, isto, mesmo quando se fazem escolhas coerentes dos parâmetros que controlam o *tracker*.

Existem várias abordagens e métodos utilizados no rastreamento de horizontes sísmicos de maneira automática ou semi-automática, tais como redes neurais artificiais, métodos baseados em feições que procuram por máximos (mínimos ou cruzamentos de zero) de amplitude, e métodos baseados em correlação, que usam a medida de correlação cruzada para guiar o rastreamento de um traço sísmico para o outro (Dorn, 1998). Todos os métodos em grau maior ou menor são influenciados pela presença do ruído nos dados que comprometem o trabalho de mapeamento do horizonte. A filtragem SVD pode ser utilizada como ferramenta na preparação do dado empilhado para viabilizar a aplicação de técnicas automáticas de interpretação, devido ao fato dela diminuir drasticamente a incidência dos problemas acima mencionados.

O método SVD tem importantes aplicações no processamento de dados sísmicos. A filtragem SVD torna mais evi-

dente os sinais de reflexão e ajuda a reduzir significativamente o ruído. Esta técnica tem sido implementada e aplicada em vários tipos de problemas (Freire, 1986; Freire & Ulrych, 1988; Bekara & Baan, 2007; Porsani et al., 2009). Kendall et al. (2005) propuseram o uso do método SVD para obtenção de filtros de polarização para atenuação do *ground roll* em dados multi-componentes. Tyapkin et al. (2003) propuseram o uso do método de alinhamento dos eventos de Liu (1999) para tornar o ruído horizontal em uma ou mais seções dos sismogramas de ponto de tiro comum. Em cada seção o ruído é representado pelas primeiras autoimagens. As demais autoimagens representam o sinal e esta parte é transformada de volta para o domínio tempo-espço. Chiu & Howell (2008) propuseram 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 à obtenção da decomposição SVD complexa, extraindo-se as autoimagens correspondentes a parte coerente do ruído. Karsli & Bayrak (2008) propuseram o uso de filtros Wiener para estimativa do *ground roll* através de um ruído de referência linear (ou não linear), correspondente ao *sweep* gerado na banda do *ground roll*.

A filtragem SVD utilizada na forma utilizada por Porsani et al. (2009), 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) associado 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.

Neste artigo fazemos aplicação da filtragem SVD em um dado sísmico empilhado terrestre com o propósito de aumentar a razão Sinal/Ruído e melhorar a continuidade lateral dos eventos como resultado da atenuação do ruído aleatório. Ilustramos o posterior benefício da filtragem SVD na melhoria dos resultados de rastreamento dos refletores quando da interpretação automática de horizontes sísmicos.

FILTRAGEM SVD

Consideremos 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

$$\mathbf{D} = [\mathbf{d}_1 \dots \mathbf{d}_M] \\ = \{d(t, x_1), \dots, d(t, x_M)\}, t = 1, \dots, N_t$$

pode ser decomposta através do método de decomposição em valores singulares, “singular value decomposition” (SVD) conforme representado a seguir (Golub & Van Loan, 1996):

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

onde \mathbf{U} e \mathbf{V} são matrizes unitárias e ortogonais tal que $\mathbf{U}^{-1} = \mathbf{U}^T$ e $\mathbf{V}^{-1} = \mathbf{V}^T$.

- $\mathbf{\Sigma} = \text{diag}\{\sigma_1, \dots, \sigma_M\}$ matriz dos autovalores ($M \times M$), $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_M \geq 0$,
- $\mathbf{U} = [\mathbf{u}_1 \dots \mathbf{u}_M]$ matriz dos autovetores ($N_t \times M$) associada à dimensão do tempo,
- $\mathbf{V} = [\mathbf{v}_1 \dots \mathbf{v}_M]$ matriz dos autovetores ($M \times M$) associada à dimensão do espaço.

Deixando $\tilde{\mathbf{U}} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma} = [\sigma_1\mathbf{u}_1 \dots \sigma_M\mathbf{u}_M]$ podemos reescrever a equação (1) como segue,

$$\begin{aligned} [d_1 \dots d_j \dots d_M] &= \tilde{\mathbf{U}}_V^T \\ &= [\sigma_1\mathbf{u}_1 \dots \sigma_M\mathbf{u}_M] \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1^T \\ \vdots \\ \mathbf{v}_M^T \end{bmatrix} \\ &= [\sigma_1\mathbf{u}_1 \dots \sigma_j\mathbf{u}_j \dots \sigma_M\mathbf{u}_M] \\ &\quad \times \begin{bmatrix} v_{1,1} & \dots & v_{1,j} & \dots & v_{1,M} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ v_{M,1} & \dots & v_{M,j} & \dots & v_{M,M} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

De onde obtemos a equação para decomposição SVD de um traço do subconjunto de M traços da seção original:

$$\begin{aligned} d_j &= [\sigma_1\mathbf{u}_1 \dots \sigma_M\mathbf{u}_M] \begin{bmatrix} v_{1,j} \\ \vdots \\ v_{M,j} \end{bmatrix} \\ &= \hat{\mathbf{d}}_1^j + \dots + \hat{\mathbf{d}}_k^j + \dots + \hat{\mathbf{d}}_M^j \quad (2) \\ &= \sum_{k=1}^M \sigma_k \mathbf{u}_k \mathbf{v}_{k,j} \end{aligned}$$

Nota-se que o traço sísmico $d(t, x_j)$, (colunas j da matriz \mathbf{D}) pode ser obtido através da combinação linear de autovetores associados à dimensão temporal. Os pesos utilizados na combinação linear são os coeficientes dos autovetores associados à dimensão espacial escalonado pelos autovalores correspondentes.

Outra maneira de escrever a equação (1) está apresentada a seguir,

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= [\mathbf{u}_1 \dots \mathbf{u}_M] \begin{bmatrix} \sigma_1 \mathbf{v}_1^T \\ \vdots \\ \sigma_M \mathbf{v}_M^T \end{bmatrix} \\ &= \sigma_1 \mathbf{u}_1 \mathbf{v}_1^T + \dots + \sigma_M \mathbf{u}_M \mathbf{v}_M^T \quad (3) \\ &= \hat{\mathbf{D}}_1 + \dots + \hat{\mathbf{D}}_k + \dots + \hat{\mathbf{D}}_M \\ &= \sum_{k=1}^M \sigma_k \mathbf{u}_k \mathbf{v}_k^T \end{aligned}$$

$\hat{\mathbf{D}}_k = \sigma_k \mathbf{u}_k \mathbf{v}_k^T$ é uma matriz de posto unitário que também é denominada de autoimagem k da matriz de dados \mathbf{D} , enquanto que $\hat{\mathbf{d}}_k^j$ na equação (2) é o traço j da autoimagem $\hat{\mathbf{D}}_k$.

A equação (2) representa a decomposição SVD de um traço, enquanto a equação (3) representa a decomposição SVD de toda a imagem associada à matriz original. Limitando o somatório nessas equações podemos obter representações aproximadas de cada traço sísmico ou de toda a imagem.

Os primeiros autovalores possuem maior amplitude fazendo com que as autoimagens associadas preservem as feições de maior correlação espacial (Freire, 1986). Desta forma os primeiros autovetores são responsáveis pela reconstituição dos eventos predominantemente horizontais ou sub-horizontais de maior amplitude. Porsani et al. (2009) utilizaram este método para enfatizar os eventos horizontais e sub-horizontais e atenuar os eventos inclinados associados ao *ground roll*.

Para cada traço de uma seção sísmica 2D ou de um volume 3D que se deseja filtrar, podemos coletar o subconjunto de M traços imediatamente vizinhos, efetuar a decomposição SVD da matriz de dados correspondente e restituir parcialmente o traço $\tilde{\mathbf{d}}_j$ através da equação,

$$\tilde{\mathbf{d}}(t, x_j) = \sum_{k=1}^K \sigma_k u_k(t) v_k(x_j). \quad (4)$$

Assim, o traço $\tilde{\mathbf{d}}(t, x_j)$ obtido a partir dos K primeiros autovetores representará o traço filtrado. Os valores pequenos de K serão responsáveis pela geração de traços, seções e volumes, de maior coerência espacial. A filtragem SVD pode ser vista como um método de filtragem multicanal onde cada traço filtrado guarda certo grau de coerência com os traços imediatamente vizinhos.

O método de filtragem SVD proposto consiste na aplicação sistemática da equação (4) sobre todos os traços de uma linha sísmica ou de um volume 3D, seguindo o procedimento:

- (i) Seleção do subconjunto de M traços imediatamente vizinhos a cada traço $d(t, x_j)$ da seção ou volume sísmico.
- (ii) Decomposição SVD.
- (iii) Reconstituição parcial do traço $\tilde{d}(t, x_j)$ utilizando apenas K autovalores.

A Figura 1 ilustra o operador de 5 pontos utilizado na filtragem de um volume 3D de dados sísmicos. A Figura 2 apresenta um exemplo numérico da filtragem SVD. A Figura 2a apresenta cinco traços vizinhos, extraídos de um volume sísmico empilhado 3D. A Figura 2b apresenta os traços $\hat{d}^3_j, j = 1, 2, \dots, 5$, correspondente ao traço central da primeira até a quinta autoimagem. Chamamos atenção para o fato que o traço 1, associado à primeira autoimagem em (b) é aquele que guarda maior similaridade com o traço central. Tanto a fase quanto a amplitude relativa dos eventos sísmicos são bem preservados uma vez que foi obtido a partir do autovetor de maior amplitude. A Figura 2c apresenta o traço central da Figura 2a e aquele obtido com a soma dos traços em 2b, conforme equação (4). A diferença entre o traço central original e o calculado para $K = 5$ (todos os autovalores) resulta o traço nulo em conformidade com o método de decomposição SVD.

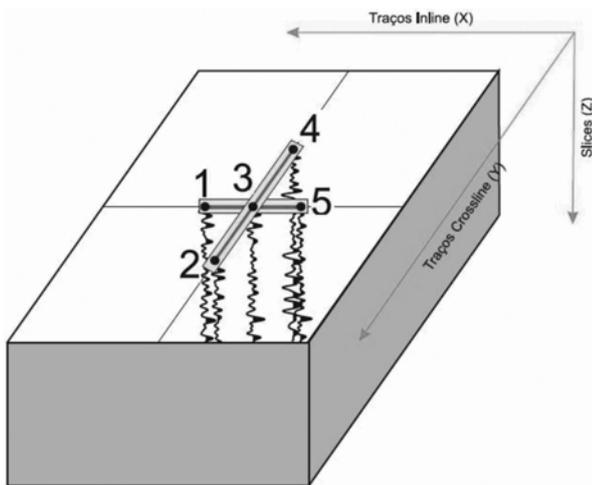


Figura 1 – Representação esquemática do operador de 5 pontos extraindo 5 traços adjacentes do volume 3D de dados sísmicos.

O operador 2D ou 3D de filtragem SVD é deslocado espacialmente sobre todo os dados da seção 2D ou volume sísmico 3D. Uma forma natural de aplicação da filtragem SVD é escolher um número ímpar de traços e escolher o traço alvo central do operador como sendo o traço que desejamos filtrar. A cada nova posição do operador uma decomposição SVD é realizada e um novo traço filtrado é gerado. O resultado assim obtido representará o volume sísmico filtrado com mesma dimensão dos dados de entrada.

APLICAÇÃO DO MÉTODO

Utilizamos o operador espacial de 5 pontos ilustrado na Figura 1. A filtragem SVD foi aplicada em dados empilhados de um volume 3D de dados sísmicos terrestres nitidamente contaminados com ruído aleatório. A presença persistente desse tipo de ruído dificulta a interpretação sísmica, especialmente quando se utilizam técnicas automáticas de interpretação. A Figura 3a apresenta uma seção sísmica dos dados originais. A Figura 3b é a imagem resultante da filtragem SVD. O resultado é eloquente, pois revela mais consistência traço a traço e é praticamente livre do ruído aleatório além de realçar a nitidez e melhorar a coerência e continuidade dos eventos de reflexão.

Na seção sísmica selecionamos três eventos de reflexão A, B e C, em grau decrescente segundo a natureza da coerência, nitidez e continuidade dos mesmos. Estes três eventos de reflexão foram submetidos ao processo de interpretação automática, no dado original e no dado filtrado com o procedimento proposto, conforme apresentado na próxima seção.

INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA

Na comunidade de intérpretes sísmicos, há o consenso na opinião de que os *autotrakers* são ferramentas indispensáveis na abordagem moderna de interpretação, isto porque a interpretação manual não somente tem a desvantagem de consumir um tempo excessivo, mas fundamentalmente devido ao fato de introduzir imprecisões que podem obscurecer detalhes geológicos. Os mapas obtidos através do *autotracking* podem revelar detalhes não visíveis mediante outras formas de interpretação (Brown, 2005).

O *autotracking* é um procedimento que requer um mínimo de controle e guia do intérprete. Ele é aplicado em cenários onde acreditamos ser possível “seguir” horizontes sísmicos bem definidos. Este sucesso do mapeamento do refletor pressupõe que os dados tenham consistência e boa qualidade. A existência de certos tipos de ruído no *background* pode comprometer a consistência dos dados e dificultar a funcionalidade do *autotracking*. Nestes casos, o resultado do *tracking* se perde no meio de outros eventos de reflexão, diferentes do refletor escolhido para interpretação.

No teste de interpretação dos horizontes selecionados neste artigo, foi utilizada a técnica conhecida como *Amplitude Tracking*. Neste contexto, o *tracking* pode ser realizado ao longo dos valores de amplitudes máximas, mínimas ou “zeros” vinculados a um evento sísmico em particular. O evento sísmico pode ser positivo ou negativo em função da natureza do contraste de impedância acústica associada à reflexão. No *autotracking* é importante que seja especificado o tipo de contraste que vincule ao evento de reflexão (positivo ou negativo), assim, o *tracker* fará a busca seguindo este critério de controle.

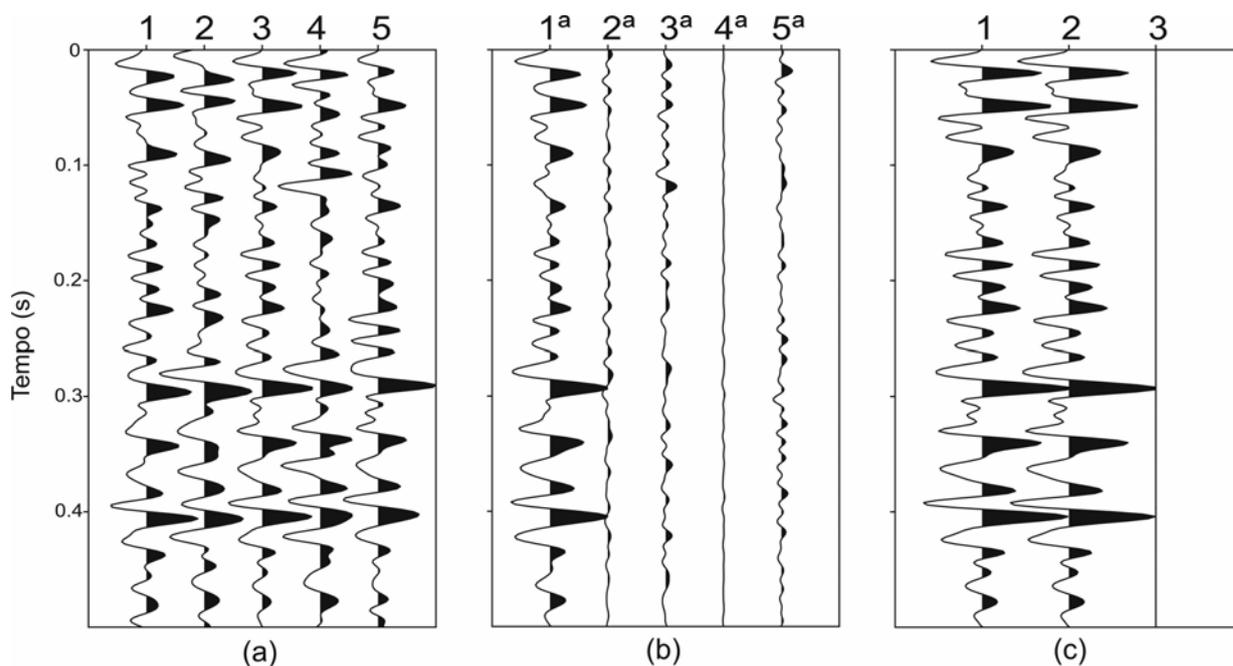


Figura 2 – Em (a) estão representados 5 traços extraídos do volume 3D, associados ao operador de 5 pontos. Em (b) estão os traços centrais extraídos das 5 auto-imagens, respectivamente. Em (c) estão representados o traço central dos dados originais (traço 3), o traço empilhado com a soma dos 5 traços de (b) e o resíduo entre original e empilhado.

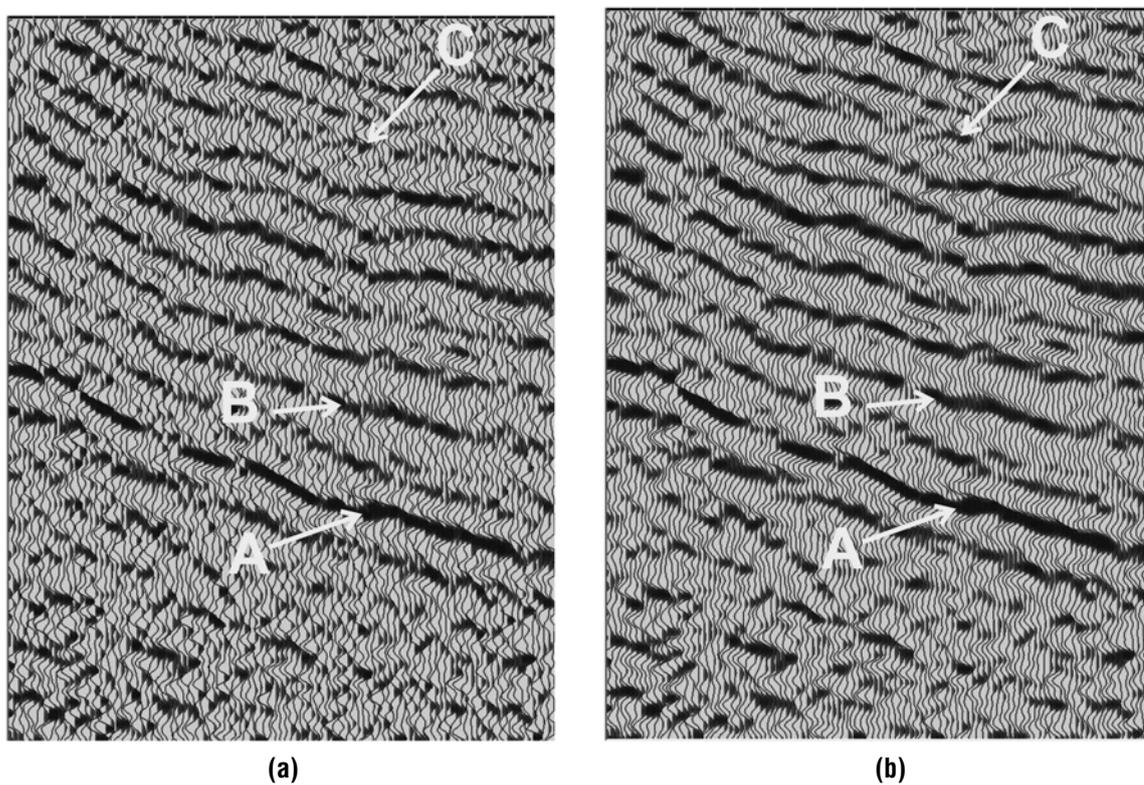


Figura 3 – Seção sísmica original extraída de um volume de aquisição terrestre (a). Seção sísmica após aplicação do filtro SVD (b). Mostrando os eventos de reflexão a serem considerados nos testes de interpretação automática.

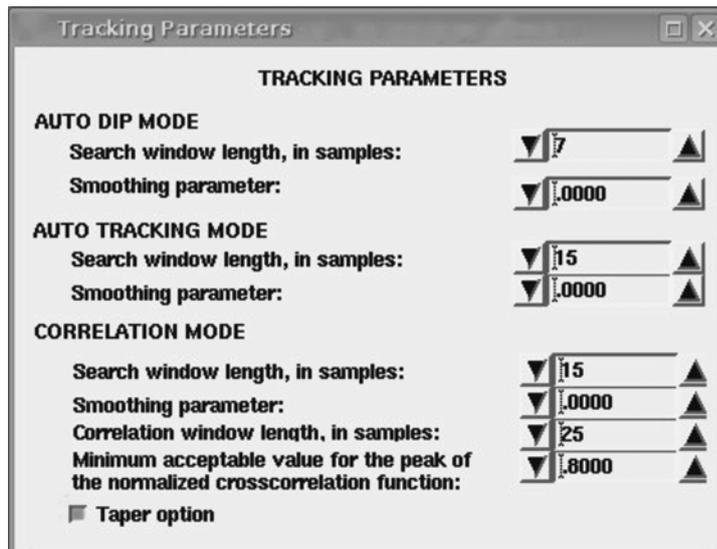


Figura 4 – Parâmetros de controle de *autotracking* utilizados no teste de interpretação automática.

Os *softwares* comerciais modernos de aplicação e interpretação automática de horizontes (Petrel, Charisma, Seisworks, entre outros), permitem controlar o grau de agressividade na busca de valores vinculados a algum atributo sísmico no processo de *autotracking*. Em geral, os parâmetros de controle mais importantes são o tamanho da “janela de procura” e o parâmetro de suavização (Fig. 4). O primeiro especifica, em número de amostras, o “tamanho da busca” onde o *tracker* observará os *picks* válidos. O tamanho ideal da janela depende das características do dado. O segundo utiliza o algoritmo de suavização que é aplicado, basicamente, com o propósito de melhorar a visualização do horizonte (nem sempre é aplicado).

Os mesmos parâmetros de controle de *autotracking* foram aplicados no teste de interpretação automática nas seções original e filtrada com a técnica SVD. Para isto, escolheram-se os pontos de controle inicial P1, Q1 e R1 e os pontos finais P2, Q2 e R2, respectivamente. Estes pontos encontram-se localizados nas mesmas coordenadas em ambas as seções sísmicas apresentadas na Figura 5.

O *autotracking* foi aplicado na seção original e filtrada utilizando os mesmos parâmetros de controle mostrados na Figura 4. Na seção sísmica original (Fig. 5a) observa-se que para os pontos de controle P1-P2, o *tracker* se perde e “sugere” uma interpretação que não corresponde ao evento de reflexão escolhido para interpretação. No dado filtrado com o método SVD (Fig. 5b) o resultado é excelente, pois o *tracker* segue de maneira correta o refletor em questão. Para os pontos de controle Q1-Q2 o trabalho do *tracker* no dado filtrado (Fig. 5b), é muito melhor se comparado com o resultado obtido com o dado original, pois na parte central do evento sísmico em questão, o

tracker se desvia de maneira mais severa da tendência do refletor do que no dado filtrado. Finalmente, para os pontos de controle R1-R2 escolhidos para tentar a interpretação do refletor mais fraco e menos óbvio, no dado original, o *tracker* se perde e não consegue seguir a tendência do refletor, no entanto, no dado filtrado o trabalho é muito bem realizado.

Resultados similares podem ser observados na Figura 6. A Figura 6a mostra uma parte de uma seção extraída do volume 3D migrado do Baixo de Quiambina (Bacia do Recôncavo) da área Rio Inhambupe. A Figura 6b mostra a seção filtrada seguindo o procedimento apresentado anteriormente. O *autotracking* foi aplicado na seção original e filtrada utilizando os mesmos parâmetros de controle mostrados na Figura 4. A melhor coerência espacial e continuidade dos horizontes na seção SVD (Fig. 6b) permitem o rastreamento consistente do refletor entre os pontos de controle T1-T2. Na Figura 6a o *tracker* se perde e não consegue seguir a tendência do refletor.

CONCLUSÕES

Apresentamos um método de filtragem SVD que possibilita aumentar a razão Sinal/Ruído de seções sísmicas 2D ou volumes sísmicos 3D. Nos exemplos numéricos realizados com dados sísmicos terrestres mostramos que a filtragem SVD permite que o mapeamento automático de refletores pode ser realizado de forma mais robusta e consistente. As seções sísmicas filtradas com o método proposto exibem refletores susceptíveis ao rastreamento e à interpretação automática, ação que seria muito forçada ou inviável no dado empilhado original. Assim, o método pode ser utilizado, sempre que necessário, em dados

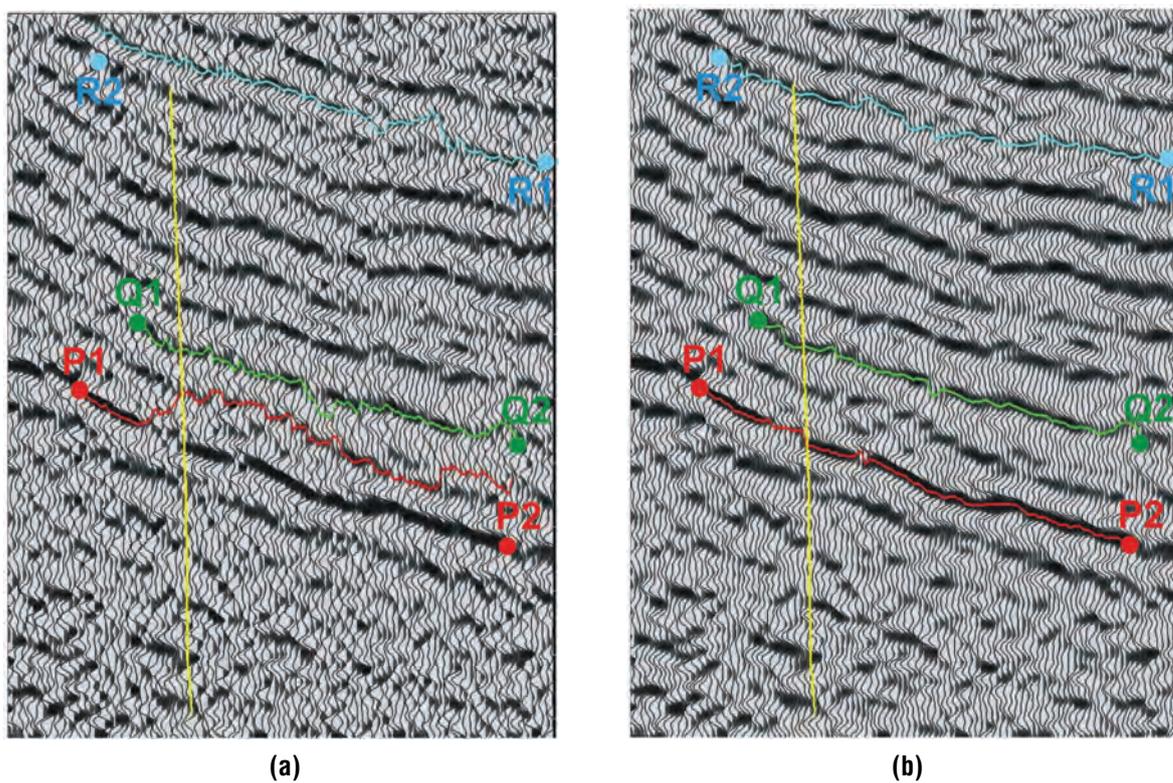


Figura 5 – Resultado da aplicação do *autotracking* nas seções sísmicas do dado 3D migrado: original (a) e após a aplicação da técnica de filtragem SVD (b).

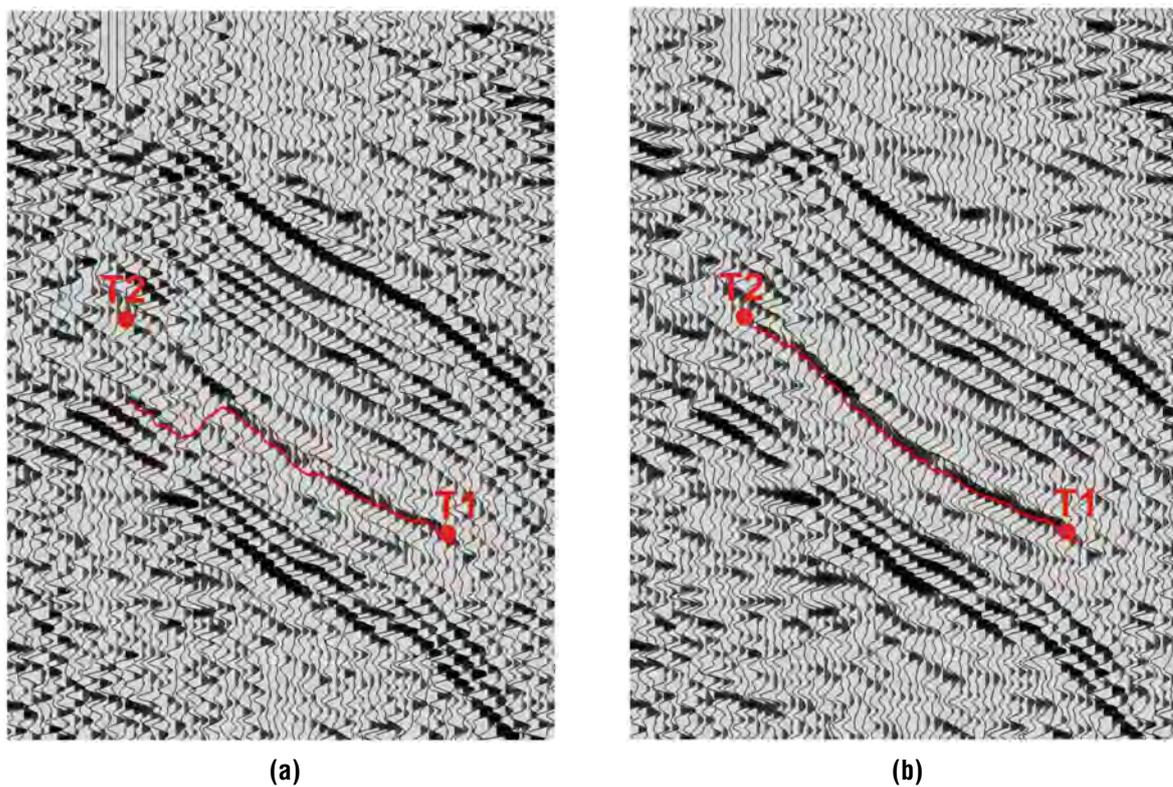


Figura 6 – Resultados da aplicação do *autotracking* nas seções sísmicas do dado 3D migrado: original (a) e após a aplicação da técnica de filtragem SVD (b).

empilhados antes de submetê-los aos processos de interpretação automática. Isto pode ser muito importante, principalmente em dados de aquisição sísmica terrestre onde frequentemente se observam variações laterais da relação Sinal/Ruído, assim como variações de fase do sinal devidas a problemas com a correção estática.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP, FAPESB, ANP (Projeto Campo Escola-UFBA) e CNPq-INCT-GP e pelo financiamento e apoio à pesquisa. Também agradecem às empresas Schlumberger, Landmark e Paradigm pelos acordos de cooperação que permitem o uso das licenças dos *softwares* de processamento e interpretação sísmica disponibilizadas ao LAGEP-CPGG-UFBA.

REFERÊNCIAS

BEKARA M & BAAN MV. 2007. Local singular value decomposition for signal enhancement of seismic data. *Geophysics*, 72: V59–V65.

BROWN AR. 2005. Pitfalls in 3D seismic interpretation. *The Leading Edge*, 24(7): 716–717.

CHIU SK & HOWELL JE. 2008. Attenuation of coherent noise using localized-adaptive eigenimage filter. In: 78th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 2541–2545.

DORN G. 1998. Modern 3-D Seismic Interpretation. *The Leading Edge*, 17(9): 1262–1272.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Milton José Porsani. B.C. em Geologia pela USP, 1976. Mestre em Geofísica pela UFPA, 1981. Doutor em Geofísica pela UFBA, 1986. De 1986 até o presente é Pesquisador do CPGG-UFBA. Pós-doutorado em Geofísica, Institute for Geophysics at University of Texas at Austin, EUA, setembro/92 a outubro/93. Professor do Departamento de Geologia e Geofísica Aplicada do IGEO-UFBA (1990). Professor Titular na matéria Exploração de Petróleo (2000). Pesquisador IA do CNPq. Coordenador do Programa de Exploração de Petróleo do CPGG-UFBA. Áreas de interesse: desenvolvimento de métodos e algoritmos de filtragem mono e multicanais, processamento de dados sísmicos, inversão de dados geofísicos.

Fredy Alex Villaorduna Artola. B.C. em Engenharia Geológica com menção em petróleo pela Universidad Nacional de Ingeniería, 1992. Mestrado em Geologia pela Universidade de Brasília, 1997. Doutorado em Geologia (área de atuação Geofísica Aplicada) pela Universidade de Brasília, 2000. Pós-doutorado em Geofísica pela Universidade Federal da Bahia, 2001. Em várias oportunidades foi pesquisador visitante no Laboratório de Geofísica de Exploração de Petróleo CPGG-UFBA. Tem trabalhado nas companhias Graña y Montero Petrolera S.A (Peru); Petroleum Geoservices PGS (Brasil) e Schlumberger (Venezuela). Atua nas áreas de Sísmica Multicomponente, Monitoramento Sísmico de Reservatórios (Sísmica 4D), Anisotropia Sísmica, Sismologia da Onda Convertida PS, Geologia do Petróleo, Física de Rochas, Previsão de Geopressões, Processamento e Interpretação Sísmica. Atualmente trabalha para Schlumberger – Brasil como geofísico de reservatório.

Michelângelo Gomes da Silva. B.C. em Engenharia de Agrimensura pela EEA, 2001. Mestre em Geofísica de Exploração de Petróleo pela UFBA, em 2004. De 2004 até a presente data, pesquisador do CPGG-UFBA e bolsista do CNPq. As principais áreas de interesse são métodos de filtragem, processamento de dados sísmicos de reflexão e interpretação sísmica.

Paulo Espinheira Menezes de Melo. B.C. em Matemática pela UNIT, 1998. Mestre em Geofísica de Exploração de Petróleo pela UFBA, em 2002. Doutor em Geofísica pela UFBA, 2007. Pós-doutorado em Geofísica, University of Alberta, CA, outubro/2007 a abril/2008. De 2008 até a presente data, pós-doutorando do CPGG-UFBA e bolsista da FAPESB. Áreas de interesse: desenvolvimento de métodos e algoritmos de filtragem mono e multicanais, processamento de dados sísmicos, inversão de dados geofísicos e interpretação sísmica.

FREIRE SLM. 1986. Aplicações do método de decomposição em valores singulares no processamento de dados sísmicos. Tese de doutorado, CPGG-UFBA. Disponível em:

<<http://www.pggeofisica.ufba.br/publicacoes/detalhe/206>>. Acesso em: 5 jul. 2009.

FREIRE SLM & ULRICH TJ. 1988. Application of singular value decomposition to vertical seismic profiling. *Geophysics*, 53: 778–785.

GOLUB GH & VAN LOAN CF. 1996. *Matrix Computations*. 3 ed. (Baltimore: Johns Hopkins University Press). Matrix computations: Johns, 694 p.

KARSLI H & BAYRAK Y. 2008. Ground-roll attenuation based on Wiener filtering and benefits of time-frequency imaging. *The Leading Edge*, 27: 206–209.

KENDALL R, JIN S & RONEN S. 2005. An SVD-polarization filter for ground roll attenuation on multicomponent data. In: 77th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 928–932.

LIU X. 1999. Ground roll suppression using the Karhunen-Loeve transform. *Geophysics*, 64: 564–566.

PORSANI MJ, SILVA MG, MELO PEM & URSIN B. 2009. Ground-roll attenuation based on SVD filtering. In: 81st Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 28, 3381–3385.

TYAPKIN YK, MARMALYEVSKYY NY & GORNYAK ZV. 2003. Source-generated noise attenuation using the singular value decomposition. In: 75th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 22, 2044.