



Atenuação de Reflexões Múltiplas da Bacia do Jequitinhonha Utilizando Deconvolução Preditiva Multicanal e Transformada Radon Parabólica

Hans Castro Einsiedler, Milton J. Porsani e Rosângela Maciel
(CPGG - UFBA)

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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

Este trabalho apresenta os resultados do estudo do impacto dos métodos de atenuação de múltiplas em dados sísmicos utilizando a transformada Radon parabólica (TRP) e a deconvolução preditiva multicanal (DPM). Para tal tarefa foi utilizado o software Promax da Landmark para processar a linha sísmica da região do Jequitinhonha 214-RL-0266 na qual foi realizada a conversão do formato dos dados, montagem de geometria, edição, correção de NMO utilizando o campo de velocidade gerado pela empresa de aquisição sísmica Westerngeco, aplicação da TRP nos dados pré-empilhados. Ainda utilizando o software Promax foram geradas famílias de CMP corrigidas de MMO pré-empilhadas utilizadas na aplicação da DPM. Os algoritmos implementados em rotinas Fortran utilizados na DPM foram gerados pelo grupo do Laboratório de geofísica de exploração de petróleo (LAGEP). Posteriormente os dados filtrados por este método foram migrados para o Promax e comparados com o método TRP. Os métodos obtiveram êxito na atenuação de múltiplas sendo que DPM se mostrou mais eficiente que o TRP para remoção de múltiplas.

Introdução

Atualmente, cerca de 90% das reservas brasileiras de óleo localizam-se nas porções submersas das bacias sedimentares costeiras. Nessas bacias, a sísmica de reflexão é uma das principais ferramentas de que dispõe o geofísico na exploração e desenvolvimento de campos de petróleo. Os dados armazenados num levantamento sísmico possuem em resumo: reflexões, ruídos coerentes e ruídos aleatórios do ambiente. Existem vários tipos de ondas associadas à categoria dos ruídos coerentes dentre elas encontram-se as múltiplas que sofrem pelo menos duas reflexões ascendentes e uma descendente antes de serem registradas. As reflexões múltiplas podem ser classificadas em dois grupos: as de longo período (geralmente relacionadas com a superfície livre, interface água-ar ou terra-ar) e as de curto período, origi-

nadas geralmente dentro de uma camada com forte contraste de impedância acústica em relação às camadas vizinhas (Carvalho, 1992).

O processamento sísmico utilizado no tratamento dos dados obtidos na sísmica de reflexão tem como meta final a obtenção da melhor imagem possível em subsuperfície revelando as reflexões genuínas e suprimindo os ruídos de vários tipos. A migração constitui-se uma das etapas finais e essenciais no processamento. Os métodos de migração, no entanto requerem que os dados de entrada apresentem alta razão sinal/ruído e além disso a ausência de reflexões múltiplas. Os operadores de migração não distinguem múltiplas de primárias, podendo introduzir refletores falsos nos dados migrados, prejudicando sobremaneira a imagem a ser interpretada. Neste sentido os métodos de atenuação de ondas múltiplas são de grande importância para o resultado final do processamento sísmico.

Os métodos para atenuação de Múltiplas podem ser agrupados em quatro categorias (1) métodos baseados na discriminação de velocidade aparente (Schneider, Prince and Giles, 1965), (2) métodos baseados na equação da onda (Berryhill and Kim, 1986), (3) métodos baseados na periodicidade (Backus, 1959; Peacock and Treitel, 1969), e (4) métodos baseados na coerência (Doicin and Spitz, 1991). A aplicação da deconvolução preditiva multicanal para supressão de múltiplas é um problema de mínimos quadrados que se baseia na solução de equações normais através da forma recursiva de Levison multicanal (Porsani e Ursin, 2007) levando em conta a correlação espacial existente entre canais para estimar reflexões múltiplas em tempos avançados em um determinado canal. A TRP assim como a DPM também consiste em um problema de mínimos quadrados que se baseia na solução de equações normais através da forma recursiva de Levison para se obter um domínio transformado em que os eventos múltiplos são discernidos dos primários.

A proposta deste trabalho é estudar e aplicar a DPM e a TRP para atenuar múltiplas de longo período comparando posteriormente os dois métodos.

Teoria

Filtragem preditiva multicanal

Os filtros preditivos multicanais são soluções de sistemas de equações matriciais que levam em conta a correlação espacial entre as reflexões múltiplas presentes nos canais laterais. A teoria multicanal pode ser obtida da teoria monocanal pela substituição apropriada de escalares por matrizes (Lima, 1999, Porsani e Ursin, 2007). A seguir

exemplificamos para o caso de dois canais.

Considerando z_t como o sinal desejado e x_t e y_t como traços de entrada, o dado estimado, $\tilde{z}(t)$, pode ser representado pela expressão,

$$\tilde{z}(t) = a(t) * x(t) + b(t) * y(t).$$

A expressão para o erro é dada por

$$e_t = z_t - \tilde{z}_t = z_t - a(t) * x(t) - b(t) * y(t).$$

Reescrevendo a expressão acima para um filtro de três coeficientes, temos

$$\tilde{z}_t = \sum_{k=1}^3 x_{t-k+1} a_k + \sum_{k=1}^3 y_{t-k+1} b_k,$$

ou na forma matricial,

$$\begin{pmatrix} \tilde{z}_0 \\ \tilde{z}_1 \\ \tilde{z}_2 \\ \vdots \\ \tilde{z}_m \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & y_1 & x_0 & y_0 & 0 & 0 \\ x_2 & y_2 & x_1 & y_1 & x_0 & y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m & y_m & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & x_m & y_m & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_m & y_m \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ a_3 \\ b_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

A expressão para o erro pode ser escrita da seguinte forma:

$$\mathbf{e} = \mathbf{z} - \mathbf{W}_0 \mathbf{h}_0 - \mathbf{W}_1 \mathbf{h}_1 - \mathbf{W}_2 \mathbf{h}_2 \quad (2)$$

onde,

$$\mathbf{h}_{j-1} = \begin{pmatrix} a_j \\ b_j \end{pmatrix}, \quad j = 1, 2, 3,$$

$$\mathbf{W}_0^T = \begin{bmatrix} x_0 & \dots & x_m & 0 & 0 \\ y_0 & \dots & y_m & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\mathbf{W}_1^T = \begin{bmatrix} 0 & x_0 & \dots & x_m & 0 \\ 0 & y_0 & \dots & y_m & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\mathbf{W}_2^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & x_0 & \dots & x_m \\ 0 & 0 & y_0 & \dots & y_m \end{bmatrix}, \quad (5)$$

A forma ampliada das equações normais pode ser representada como segue,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} & \mathbf{R}_{-2} \\ \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} \\ \mathbf{R}_2 & \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{h}_0 \\ \mathbf{h}_1 \\ \mathbf{h}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{W}_0^T \mathbf{z} \\ \mathbf{W}_1^T \mathbf{z} \\ \mathbf{W}_2^T \mathbf{z} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

onde,

$$\mathbf{R}_0 = \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_j, \quad j = 0, 1, 2,$$

$$\mathbf{R}_1 = \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_{j+1}, \quad j = 0, 1,$$

$$\mathbf{R}_2 = \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_{j+2}, \quad j = 0,$$

$$\mathbf{R}_j = \mathbf{R}_{-j}^T, \quad j = 0, 1, 2.$$

A matriz dos coeficientes na equação (6) é do tipo bloco-Toeplitz e a solução desse tipo de sistema de equações normais pode ser obtida com a recursão de Levinson

multicanal (Robinson, 1967, Porsani e Ursin, 2007). Vale salientar que, ao invés de escalares, temos blocos de matrizes quadradas com dimensão $n_c \times n_c$, onde n_c representa o número de canais a serem utilizados na filtragem.

Filtragem Radon Parabólica

Como uma alternativa para manter a linearidade da transformada radon direta e inversa (Beylking, 1987) considere a aplicação da correção de NMO em famílias de CMP.

$$t_n = \sqrt{t^2 - \frac{4h^2}{v_n^2}} \quad (7)$$

onde t_n é o tempo após a correção NMO, t é o tempo duplo de viagem da onda, h é o *offset* e v_n é a função velocidade. Este tempo após a correção de NMO pode ser aproximado (Hampson, 1986) por $t_n = \tau + qh^2$, onde τ é o tempo de trânsito da onda para o *offset* nulo e q é o parâmetro que define a curvatura da trajetória da parábola. Para esta aproximação a transformada radon discreta direta e inversa toma a seguinte forma,

$$u(q, \tau) = \sum_h d(h, t_n = \tau + qh^2) \quad (8)$$

$$d'(h, t_n) = \sum_q u(q, \tau = t_n - qh^2) \quad (9)$$

onde u representa eventos no domínio transformado e d' representa os eventos no domínio do CMP corrido de NMO estimados pela transformada.

O problema consiste em estimar u através do método dos mínimos quadrados de tal forma que a diferença entre a transformada inversa d' e os dados originais corrigidos de NMO seja mínima. Daí então os eventos primários poderão ser estimados neste novo domínio e subtraídos. Por fim realiza-se a transformada inversa dos dados contendo apenas as reflexões múltiplas subtraindo-a dos dados originais d .

Metodologia

Para alcançar os resultados obtidos neste trabalho foi utilizado o software de processamento sísmico PROMAX da Landmark para processar a linha sísmica da região do Jequitinhonha 216-RL-0266. Foi utilizado um padrão de processamento básico com o fim de aplicar a TRP. Os fluxos de processamento criados foram os seguintes: conversão de dados; edição de traços ruidos e mute; correção de NMO utilizando um campo de velocidades existente gerado pela empresa de aquisição sísmica west-erngeco da Schlumberger; aplicação da TRP e organização da seção sísmica em família *offset*. Para o caso da DPM utilizamos apenas os dados corrigidos de NMO

gerados no Promax que foram posteriormente exportados para formato seg-y e transformados em acesso direto para serem trabalhados com rotinas Fortran que detêm a filtragem preditiva multicanal. Os dados para a aplicação da filtragem foram organizados em famílias *offsets*. Depois de aplicados os filtros os dados foram convertidos para o formato do Promax para serem comparados com as seções geradas com o método TRP. As comparações das seções sísmicas foram feitas no domínio da família de *offsets* comuns 150.

Resultados Experimentais

A figura 1 apresenta a seção sísmica da região do Jequitinhonha pré-empilhada com ganho e filtragem organizada em chave primária de *offset* 150 e chave secundária do tiro 650-1578. Podemos observar na figura 1a a seção sísmica já editada e corrigida de NMO. Nesta figura podemos notar claramente a presença da onda múltipla de longo período na região do talude na bacia do Jequitinhonha. Já na figura 1b podemos observar o resultado da filtragem utilizando o método TRP aplicado à família CMP corrigida de NMO da figura 1a podemos observar que o método atuou relativamente bem na atenuação da múltipla de longo período de primeira ordem onde o mesmo foi mais eficaz para a região cuja profundidade do assoalho marinho é de intermediária a funda, já na região onde o assoalho marinho se encontrava mais raso o método não atuou com tanta eficácia. A figura 1c como chave secundária renumerada de FFID 650-1578 para FFID 1-929. No resultado da filtragem preditiva multicanal podemos observar uma melhora na atenuação da múltipla de primeira ordem em relação ao método TRP, observe que neste caso tanto as múltiplas situadas nas regiões onde o assoalho marinho é mais raso quanto nas regiões onde o mesmo é intermediário a fundo podemos perceber a efetiva atenuação da múltipla.

A figura 2 apresenta a seção sísmica organizada em chave primária de *offset* 150 e chave secundária do tiro 650-830. Nas figuras 2a, 2b, 2c temos um zoom da região mais rasa do assoalho aceânico. Nestas figuras podemos comprovar o que foi averiguado na figura 1 com a melhor atuação da filtragem preditiva multicanal (figura 2c) em relação a filtragem radon parabólica (2b) para a região rasa do assoalho marinho.

Conclusão

Como podemos observar pelos resultados alcançado o método de filtragem utilizando a DPM mostrou maior eficácia na atenuação de múltiplas de primeira ordem em relação ao método de filtragem utilizando a TRP principalmente nas regiões onde o período da múltipla de primeira ordem foi mais curto. A filtragem utilizando a DPM apesar de ter sido mais eficiente foi um processo que demandou tempo para sua aplicação devido à conversão do formato dos dados para sua aplicação entretanto o tempo de processamento do método utilizando TRP demanda tempo também. A aplicação do filtro uti-

lizando a TRP levou em média 30 minutos de processamento utilizando uma máquina Dell precision 7400 com dois processadores xeon quadre core, com 8 GB de RAM e 1/2 TB de espaço.

Agradecimentos

O autor gostaria de agradecer ao Laboratório de geofísica e exploração de petróleo (LAGEP) pelo suporte em infra-estrutura oferecido sem o qual não seria possível a realização deste trabalho, Ao programa de recursos humanos da Agência Nacional de petróleo (ANP) que fomenta a realização de pesquisas como esta voltada ao setor de exploração de petróleo, Aos colegas e professores que ajudaram na realização deste trabalho.

Referências

- Beylkin, G.**, 1987, Discrete Radon transform, IEEE-Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc., ASSP-35, No. 2, 162-172.
- Deans, S. R.**, 1983, The radon transform and some of its application: John Wiley & Sons, Inc.
- Foster, D.J. e Mosher, C.C.**, 1990, Multiple suppression using curvilinear Radon transforms: SEG Expanded Abstracts 1990, 1759.
- Hampson, D.**, 1986, Inverse velocity stacking for multiple elimination: 56th Ann. Internat. Mtg., Sot. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 422-424.
- Hampson, D.**, 1987, The discrete Radon transform: a new tool for imagem enhancement and noise suppression: SEG Expanded Abstracts 1987, 141-143.
- Lima, Adriano de Pinho**, 1999, Deconvolução de reflexões múltiplas nos domínios t-x e t-p com filtros multicanais, dissertação de mestrado, UFBA, Salvador, BA. (www.pggeofisica.ufba.br/teses-f.html).
- Porsani, M. J. e Ursin, B.**, 2007, Direct multichannel predictive deconvolution. Geophysics, 72(2), p. H11-H27.
- Thorson, J. R., and Claerbout, J. F.**, 1985, Velocity-stack and slant-stack stochastic inversion: Geophysics, 50 2727-2741.

Atenuação de múltiplas com DPM e transformada Radon

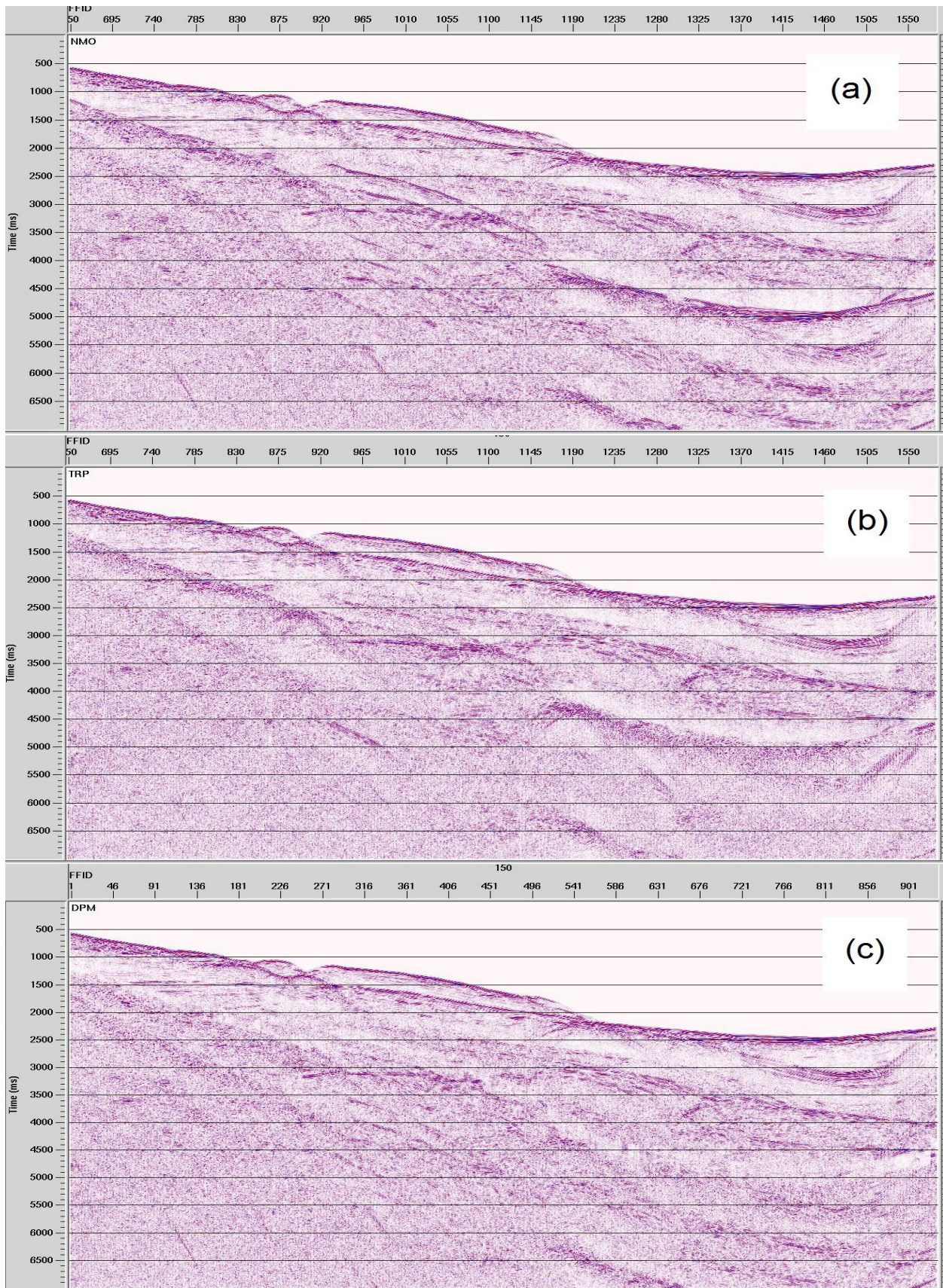


Figura 1: Painéis de *offset* comum mostrando seção original em (a) e resultados da filtragem Radon em (b) e DPM em (c).

Atenuação de múltiplas com DPM e transformada Radon

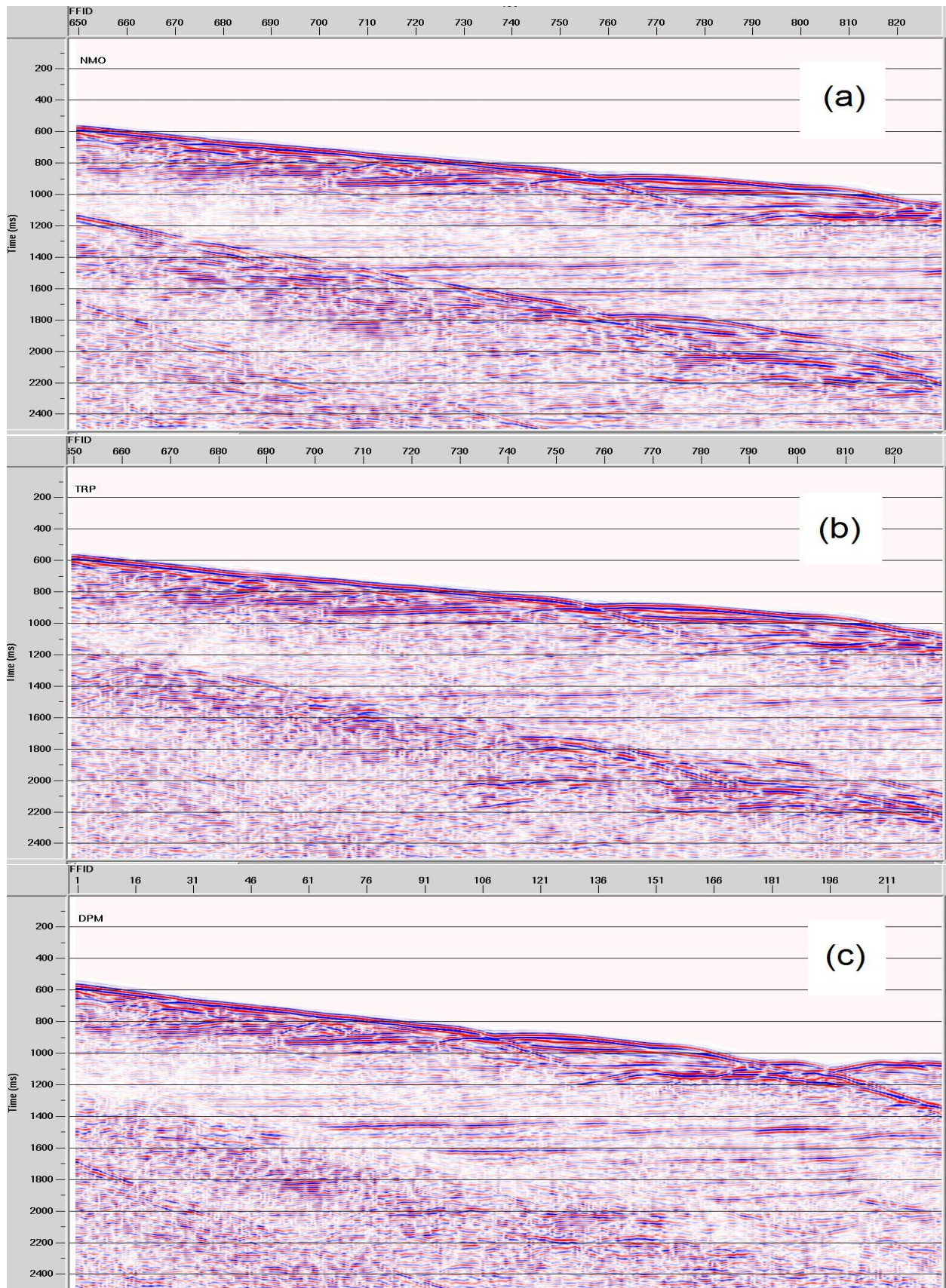


Figura 2: Detalhe das seções mostradas na Fig. 1, correspondendo aos tiros 650 a 830 e tempo até 2,5 s.