



Atenuação de Reflexões Múltiplas Utilizando Deconvolução Preditiva e Empilhamento Seletivo

Luíte R. Oliveira, 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

A presença de reservas de hidrocarbonetos em bacias *offshore* justificam a grande aplicabilidade do método sísmico de reflexão nas bacias costeiras. No entanto o forte contraste de impedância acústica existente entre a interface água-ar e o fundo oceânico ocasiona a forte presença de reflexões múltiplas nos dados sísmicos marinhos, devido a reverberação da energia sísmica na lâmina d'água existente acima do assoalho oceânico. A remoção desse ruído representa um grande desafio do processamento de dados sísmicos. A dificuldade é ainda maior quando os dados são adquiridos na região da quebra da plataforma continental, onde o assoalho oceânico possui forte inclinação. Neste trabalho ilustramos a aplicação do método da Deconvolução Preditiva Multicanal (DPM) sobre dados sísmicos da Bacia de Jequitinhonha, oriundos da região do talude continental. O método de DPM foi aplicado sobre seções de afastamento comum corrigidas de MMO. Neste domínio de representação dos dados, as múltiplas do fundo do mar se apresentam com caráter aproximadamente periódico, permitindo assim que o método de DPM de Wiener-Levinson atue de forma bastante eficaz e nos *offsets* mais afastados, onde a periodicidade é prejudicada, se fez necessário aplicação do empilhamento seletivo para evitar que traços com forte coerência do ruído fossem empilhados.

Introdução

A deconvolução é uma técnica muito aplicada no processamento de dados sísmicos. Quando aplicada para aumentar a resolução temporal dos sismogramas é conhecida como deconvolução pulso sísmico. Neste caso a deconvolução tem o propósito de comprimir o pulso, reduzindo-o a um impulso, permitindo a melhor identificação das superfícies refletoras. Já a deconvolução de múltiplas, a chamada deconvolução preditiva, visa prever e atenuar eventos periódicos contidos num sismograma, tais como múltiplas do fundo do mar. A deconvolução preditiva para atenuação de reflexões múltiplas

utiliza o método de filtragem conhecido como Deconvolução Preditiva de Wiener-Levinson (Robinson e Treitel, 1980). O método de Wiener-Levinson possui basicamente três etapas: (i) obtenção dos coeficientes da função de autocorrelação, (ii) obtenção do filtro preditivo, e (iii) convolução do filtro com o traço sísmico, predizendo e removendo as múltiplas. Outra classe de algoritmos preditivos, denominados de algoritmos tipo Wiener-Levinson, permitem obter os traços deconvolvidos diretamente. Algoritmos tipo Wiener-Levinson multicanal visando a atenuação de reflexões múltiplas foram aplicados com sucesso por Lima (1999), Bezerra (2001), Maciel, (2007), Santos, 2002). A implementação computacional do algoritmo de deconvolução direta é mais simples, como também ele é mais robusto e eficaz, comparado com o algoritmo clássico multicanal de Wiener-Levinson (Porsani e Ursin, 2007).

No entanto, a falta de periodicidade das reflexões múltiplas nos traços sísmicos referentes aos *offsets* mais afastados, causa um problema à aplicabilidade do método, que foi solucionada a partir de uma seleção de traços em família de CMPs (Common Mid Points) nos quais não se evidenciou a coerência das múltiplas após a aplicação da Deconvolução, resultando num aperfeiçoamento da técnica e permitindo um empilhamento mais robusto dos traços.

A seguir apresentamos um resumo do método de filtragem multicanal, bem como da metodologia utilizada na filtragem das múltiplas associadas à região da quebra da plataforma continental de uma linha sísmica adquirida na região da bacia do Jequitinhonha.

O Modelo Convolutional

O método da Sísmica de Reflexão baseia-se na reflexão de pulsos sísmicos refletidos em interfaces entre meios que possuem contraste de impedância acústica. Esta impedância, de maneira geral, pode ser representada pelo produto entre a densidade de um meio pela velocidade de propagação do pulso sísmico no mesmo:

$$I = \rho V$$

Onde:

I : Impedância acústica de um meio qualquer.

ρ : Densidade do meio.

V: Velocidade de Propagação do pulso Sísmica no meio.

De forma que o Coeficiente de reflexão, parâmetro este que descreve a razão entre a quantidade de energia refletida entre dois meios e a quantidade de energia total, é representado em função das diferenças entre impedân-

cias acústicas de dois meios quaisquer.

$$R = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1}$$

Onde:

R: Coeficiente de reflexão entre dois meios
I₁ e **I₂**: Impedância acústica de dois meios quaisquer.

Desta forma é possível averiguar que entre meios onde o coeficiente de reflexão é suficientemente grande a energia sísmica irá reverberar sucessivamente causando um ruído denominado Reflexão Múltipla.

Um exemplo prático e que será abordado neste trabalho são as múltiplas associadas ao assoalho oceânico. Isto porque o coeficiente de reflexão entre as interfaces água-ar e o fundo oceânico são suficientemente fortes para que a energia sísmica gerada durante as aquisições sísmicas marítimas, com fonte e receptor acima do fundo oceânico, reverbere sucessivamente na lâmina d'água presente acima do assoalho, causando forte presença das múltiplas nos dados sísmicos marinhos.

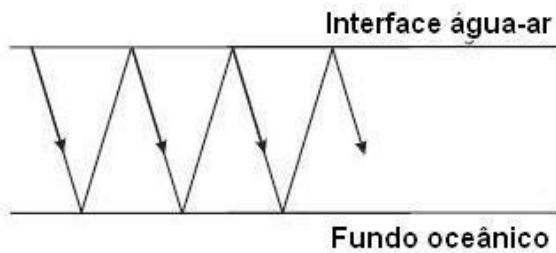


Figura 1: Reverberação da energia sísmica na lâmina d'água.

Com base no modelo convolucional o traço sísmico com múltiplas pode ser assim descrito:

$$x(t) = p(t) * e(t) * m(t)$$

Onde $x(t)$ é o traço sísmico, $p(t)$ é o pulso sísmico considerado invariante no tempo e $e(t)$ representa a resposta impulsiva da Terra, que inclui as primárias e as múltiplas internas (Yilmaz, 1989), e $m(t)$ é a seqüência geradora de múltiplas do fundo do mar que desejamos remover.

Filtragem Multicanal

Um filtro multicanal age sobre vários traços sísmicos simultaneamente. Para fins de ilustração deixemos o filtro ter 3 coeficientes (em cada canal) e atuar sobre 2 canais. Utilizando representação matricial podemos escrever,

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

A expressão para o erro entre valores observados, z_t e calculados \tilde{z}_t , pode ser representada como segue,

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

Minimizando a forma quadrática $Q(a, b) = \sum e_t^2$ com relação aos parâmetros $\{a_j, b_j\}$ obtém-se o sistema de equações normais, com matriz dos coeficientes com estrutura bloco-Toeplitz (Lima, 1999) cuja solução pode ser obtida com a recursão de Levinson multicanal. Deixando $z_t = x_{t+L}$, teremos o filtro multicanal com predição L.

O Empilhamento

O método da media aritmética é o procedimento mais empregado na obtenção do traço empilhado, já que é computacionalmente mais rápido e tem proporcionado bons resultados. No entanto a média, por ponderar igualmente os traços, não leva em consideração as diferentes energias do ruído. Neste trabalho aplicamos o empilhamento de maneira seletiva, ou seja, realizando a média aritmética apenas daqueles traços que após a aplicação da Deconvolução Preditiva não apresentavam coerência das múltiplas, o que equivale a uma média ponderada dos traços, com ponderação igual a zero dos traços com forte coerências das múltiplas, tornando o empilhamento mais eficaz na produção de uma seção empilhada livre da presença do ruído.

Metodologia

O método da deconvolução preditiva (DP) com base no filtro de Wiener-Levinson é um método estatístico que se baseia no caráter periódico das múltiplas. No entanto tal periodicidade não é preservada nos afastamentos não nulos como observado nos traços de uma família CMP ou de uma família de traços de tiro comum, o que torna o método de DP pouco eficaz. Para minorar esta falta de periodicidade foi aplicado ao dado uma correção de MMO (Multiple Moveout) sobre os painéis de CMP (Figura 2). Tal correção nada mais é que uma correção de NMO (Normal moveout) utilizando a velocidade da múltipla que se deseja suprimir. Com a aplicação do MMO em dados registrados sobre um fundo do mar horizontal tanto a reflexão primária quanto as múltiplas do fundo do mar tornam-se horizontais e periódicas com distância de predição igual ao tempo zero-offset da primária. Porém esses eventos não formam uma série estacionária no espaço e nem no tempo devido ao estiramento produzido pelo MMO. A organização dos traços para o domínio do afastamento comum tenta resolver o problema da não estacionaridade das múltiplas no espaço (Figura 3).

Para a execução dos processos que antecedem a correção de MMO (que se fazem necessários para um correto tratamento dos dados) como geometria, edição, ganhos e filtragens, utilizamos o software de processamento sísmico FOCUS. Para a aplicação da deconvolução e a organização dos traços no domínio do afastamento comum foram utilizados o Seismic Unix e rotinas Fortran

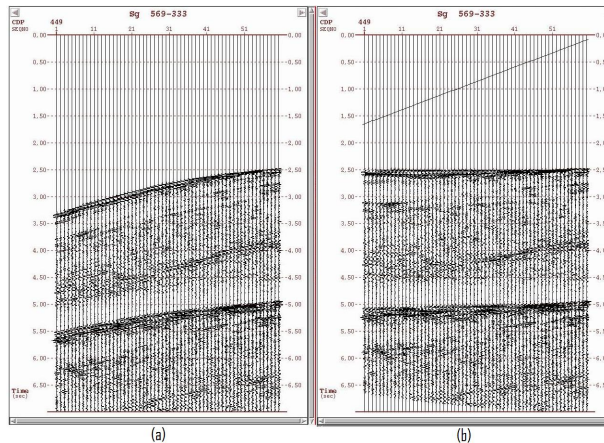


Figura 2: Família CMP antes e após a aplicação da correção de MMO, em (a) e (b), respectivamente.

desenvolvidas no CPGG - UFBA.

Resultados

Após a realização da correção de MMO e da organização dos traços no domínio do afastamento comum foram realizados sucessivos testes com objetivo de se determinar os coeficientes do filtro (N), a distância de predição (L) e o número de canais (nc). Os melhores resultados foram obtidos para $N = 0$, $10P$; $L = 0$, $95P$ ($P = \text{período da múltipla}$) e $nc = 3$ (Figura 4).

Apesar da eficácia do método para grande parte do dado, a falta de periodicidade dos traços referentes aos canais mais afastados, presentes nas famílias de CMPs comuns prejudica a aplicabilidade do método, este efeito foi solucionado através da verificação dos traços que mesmo após a aplicação da Deconvolução Preditiva Multicanal possuíam coerência do ruído e o seu não aproveitamento para o empilhamento, como mostra a figura 5.

Após a atenuação do ruído presente no dado sísmico fez-se necessário a aplicação da correção inversa de MMO, já que esta se fez necessária apenas para corrigir a falta de periodicidade das múltiplas. Com a obtenção de painéis de CMPs comuns livres da presença de reflexões múltiplas foi possível a realização de uma análise de velocidade final (Figura 6), seguida da correção de NMO e o consequente empilhamento dos mesmos, permitindo assim a obtenção de uma seção sísmica livre da presença do ruído (Figura 8).

Conclusões

A aplicação da Deconvolução Preditiva Multicanal a seções de afastamento comum forneceu bons resultados na atenuação das reflexões múltiplas da lâmina d'água na região do talude continental. A correção de MMO prévia, para precondicionar a periodicidade das múltiplas desempenha um papel fundamental no método de deconvolução preditiva. O método multicanal se mostrou bastante eficaz na maior parte do dado, neste sentido a análise de velocidade realizada para correção de MMO,

bem como a determinação da distância de predição (L), do número de coeficientes do filtro (N) e número de canais (nc) que melhor se ajustavam as amostras foram fundamentais no sucesso da deconvolução. Nos traços sísmicos referentes aos offsets mais afastados, onde a deconvolução preditiva multicanal não se mostrou totalmente eficiente, devido a falta de periodicidade dos eventos, o efeito foi corrigido pela seleção dos traços que não possuíam coerência lateral das reflexões múltiplas, permitindo um empilhamento eficaz e a composição de uma seção empilhada sem a presença do ruído.

Agradecimentos

Agradecemos à Paradigm Geophysical pela licença educacional do software FOCUS, à Landmark pelo grant e licenças educacionais do seispace e seiswork, à PETROBRAS e CNPQ/PRONEX/FAPESB pelo apoio à Rede Cooperativa NNE em Geofísica de Exploração. Rosângela Maciel agradece ao CNPQ pela bolsa PROSET.

Referências

- Bezerra, A. C.**, 1999, Deconvolução preditiva multicanal utilizando interpolação de traços sísmicos e transformada $\tau - p$, Dissert. de Mestrado, UFBA, Salvador, Brasil (www.pggeofisica.ufba.br/teses-f.html).
- 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).
- Lima, Luiz Alberto de Souza**, 2007, Atenuação de reflexões múltiplas associadas à região da quebra da plataforma continental, Trabalho de graduação, UFBA, Salvador, BA.
- Maciel, Rosângela Corrêa**, 2007, Deconvolução preditiva multicanal de reflexões múltiplas no domínio CRS. (www.pggeofisica.ufba.br/teses-f.html).
- Novaes, Fábio da Cunha**, 2007, Processamento de dados sísmicos da bacia de campos utilizando deconvolução multicanal para a supressão de múltiplas, Trabalho de graduação, UFBA, Salvador, BA.
- Porsani, M. J. e Ursin, B.**, 2007, Direct multichannel predictive deconvolution. *Geophysics*, 72(2), p. H11-H27.
- Robinson, E. A. (1957). Predictive decomposition of seismic traces. *Geophysics*, **22**.
- Santos Junior, Aluísio**, 2002, Deconvolução multicanal utilizando um algoritmo tipo Wiener-Levinson, dissertação de mestrado, UFBA, Salvador, Ba. (www.pggeofisica.ufba.br/teses-f.html).
- Weglein, A. B.**, 1999, Multiple attenuation: an overview of recent advances and the road ahead. *The Leading Edge*, **18**:40-44.
- Yilmaz, O.**, 1987, *Seismic Data Processing*, SEG, Tulsa.

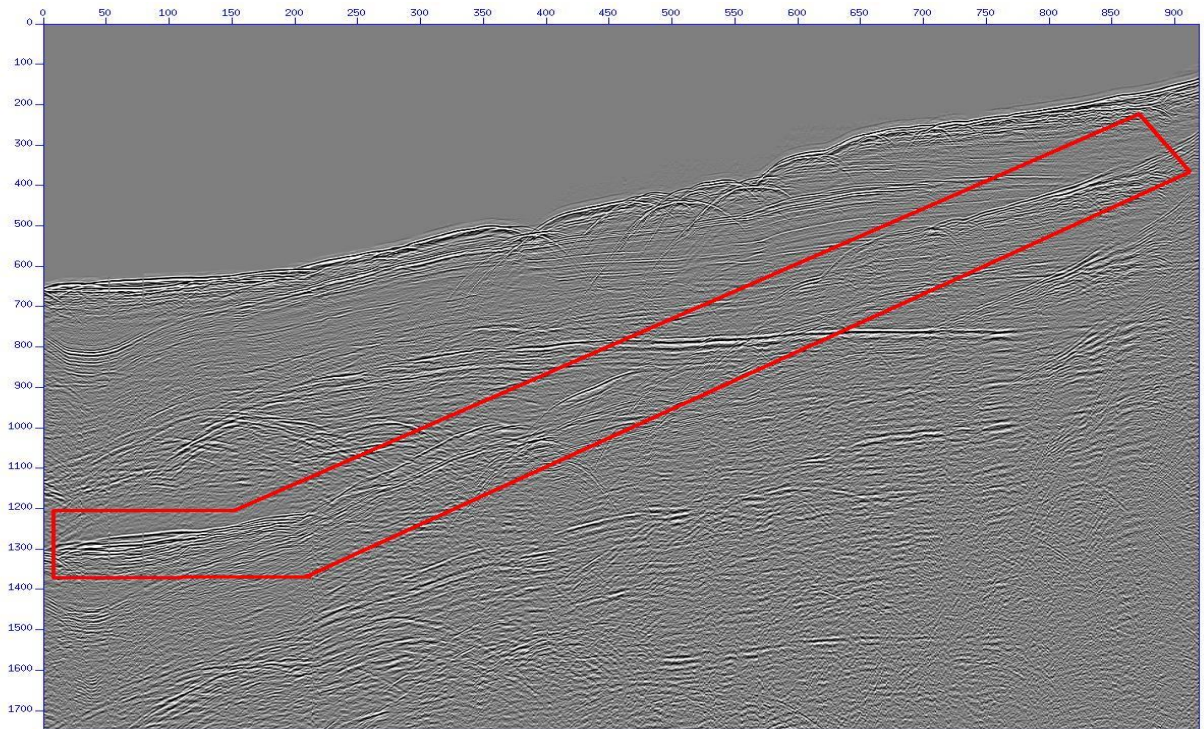


Figura 3: Painel de traços de afastamento comum antes da aplicação da Deconvolução Preditiva Multicanal.

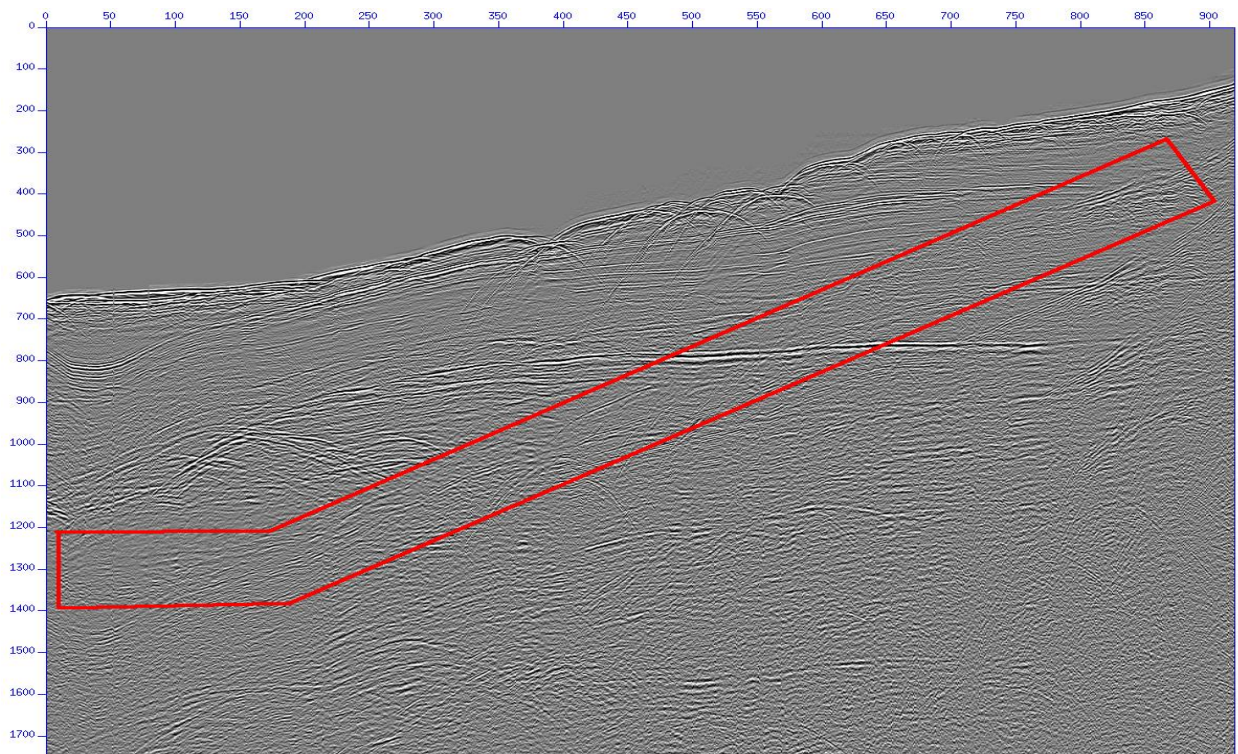


Figura 4: Painel de traços de afastamento comum após a aplicação da Deconvolução Preditiva Multicanal.

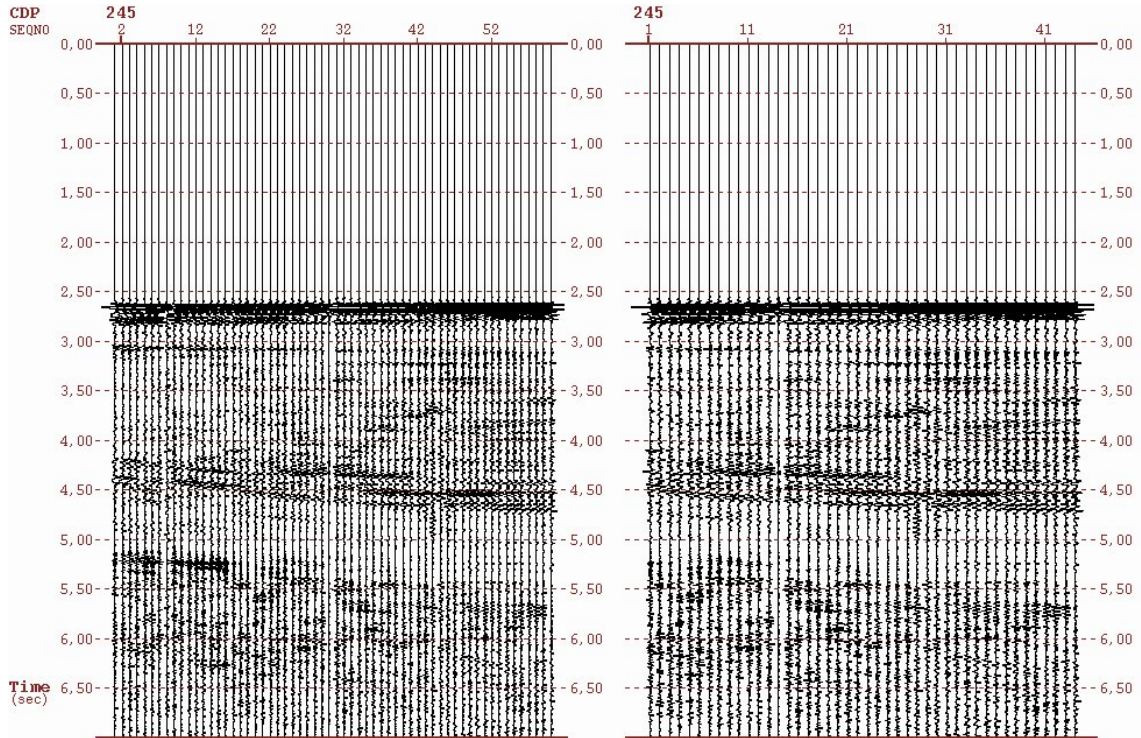


Figura 5: Seleção dos traços, em famílias CMPs, que não possuíam alta coerência das reflexões múltiplas.

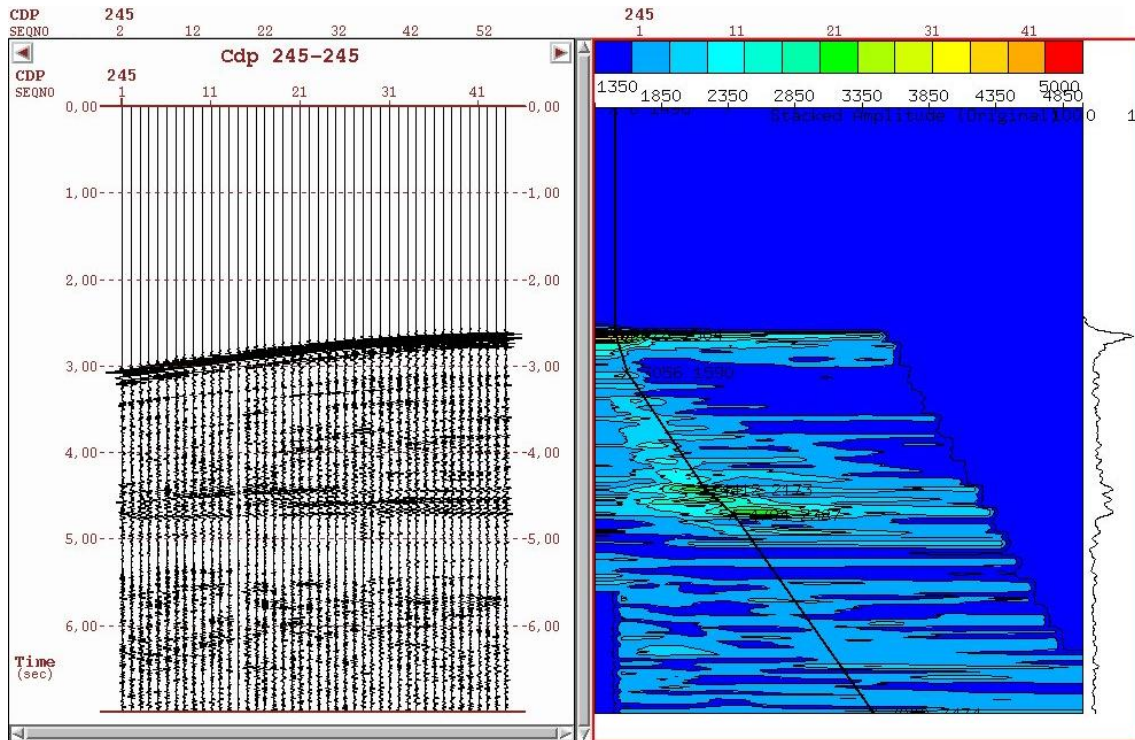


Figura 6: Análise de Velocidade após a aplicação da correção inversa de MMO.

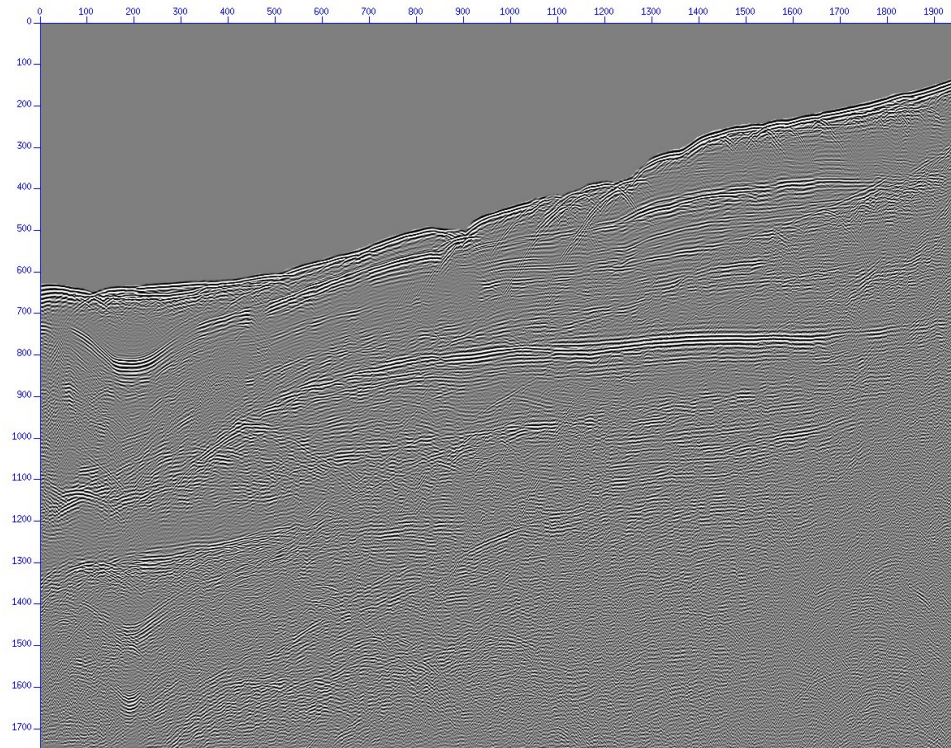


Figura 7: Seção Sísmica empilhada sem a aplicação da Deconvolução Preditiva Multicanal.

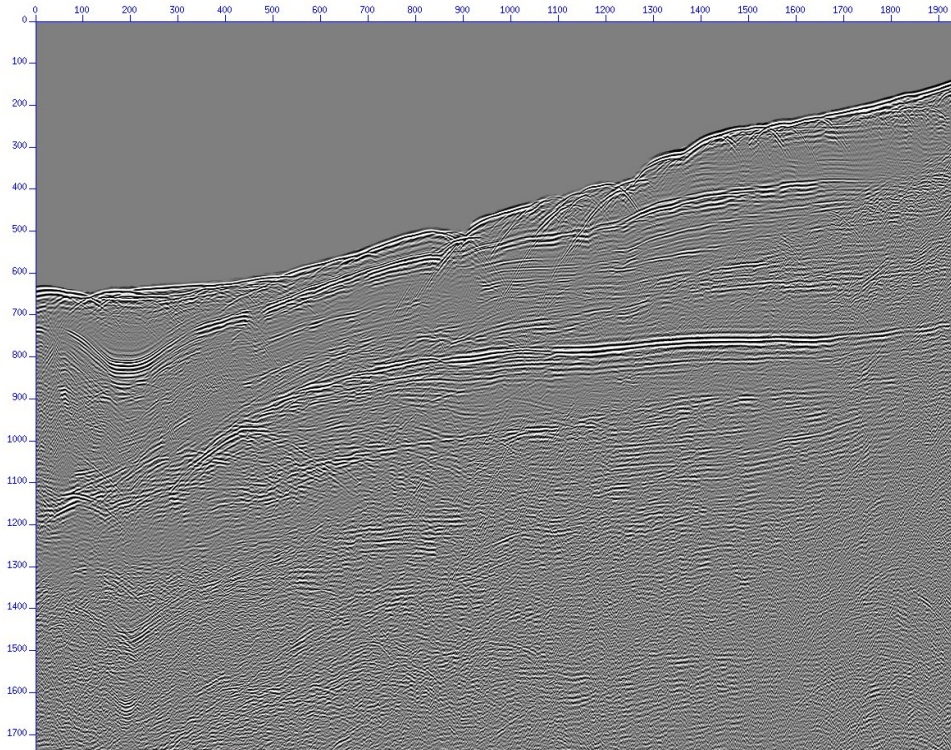


Figura 8: Seção Sísmica empilhada após a aplicação da DPM, evidenciando a não presença das múltiplas e a eficácia do método.