



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ATENUAÇÃO DE REFLEXÕES MÚLTIPLAS DE CURTO PERÍODO UTILIZANDO FILTRAGEM ADAPTATIVA

SILMARA LORENA DOS REIS OLIVEIRA

SALVADOR – BAHIA

Agosto-2007

**Atenuação de reflexões múltiplas de curto período utilizando filtragem
adaptativa**

por

SILMARA LORENA DOS REIS OLIVEIRA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA APLICADA

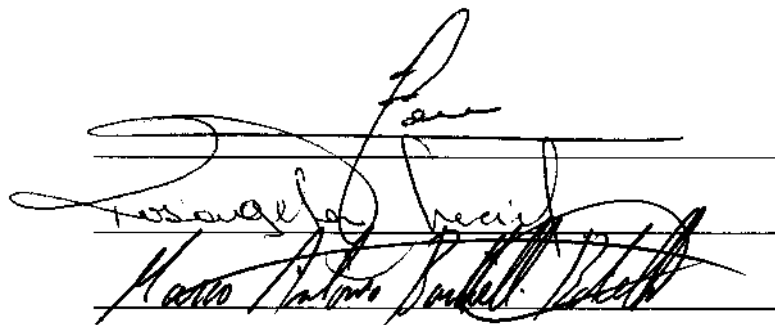
DO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Comissão Examinadora



Dr. Milton José Porsani - Orientador

Dra. Rosângela Corrêa Maciel

Dr. Marco A. B. Botelho

Data da aprovação: 10/07/2007

Em especial aos meus pais,
José Gilmaro e Maria Nilza - em
memória.

RESUMO

A atenuação de reflexões múltiplas de curto período, presentes nos dados sísmicos adquiridos sobre lâmina d'água rasa, representa um grande problema do processamento de dados sísmicos marítimos. Nas últimas décadas, vários métodos de filtragem de dados sísmicos têm sido desenvolvidos com o propósito de atenuar reflexões múltiplas e melhorar a qualidade das seções sísmicas. O método de filtragem conhecido como deconvolução preditiva de Wiener-Levinson é bastante utilizado na indústria do petróleo. Ele permite melhorar a resolução temporal dos dados sísmicos e atenuar reflexões múltiplas, podendo ser visto como um método estatístico que remove a coerência temporal dos traços sísmicos. O método de Wiener-Levinson pressupõe que o pulso sísmico é estacionário, fato este que não ocorre nos dados sísmicos reais. Para contornar este problema o método de Wiener-Levinson é normalmente aplicado utilizando-se janelas de tempo fixas, distribuídas ao longo do tempo de registro.

No presente trabalho, empregamos um método de deconvolução preditiva adaptativa onde as janelas de tempo deslizantes são deslocadas amostra a amostra ao longo de todo o traço sísmico. Os sistemas de equações são resolvidos com o algoritmo recursivo tipo-Levinson desenvolvido por Porsani (1986). Na deconvolução de Wiener-Levinson, com janelas de tempo fixa, os filtros são gerados e aplicados dentro de cada janela. Já na deconvolução preditiva adaptativa o algoritmo calcula um novo filtro a cada posição da janela deslizante.

Para teste da nova abordagem utilizamos os dados sísmicos da Bacia de Jequitinhonha, cedidos pela PETROBRAS. Os melhores resultados foram obtidos com filtros de 25 coeficientes, distância de predição igual a 5 amostras e janela móvel de 55 amostras. Os resultados obtidos com a nova abordagem demonstram que a deconvolução preditiva adaptativa atua com eficácia na atenuação de múltiplas de curto período, apresentando resultados melhores que o método de deconvolução preditiva de Wiener-Levinson.

ABSTRACT

Short period multiple attenuation is a difficult problem of the seismic data processing of marine data acquired over shallow water. In the past few decades many filtering methods has being developed to solve that problem and to improve the quality of the seismic imaging. The Wiener-Levinson predictive deconvolution method is one of the most useful and well known filter method used in the seismic data processing. It can be seen as method able to reduce redundancy along of time variable, allowing us both to improve the time resolution and either to attenuate multiple reflections in the seismic traces. One of the assumptions of the Wiener-Levinson method is that the seismic wavelet as stationary along the seismic trace. However that is not true in real data and to bypass that limitation the method is normally applied by using fixed windows of time, distributed along of the seismic trace.

In the present study we have tested a new predictive deconvolution adaptive approach for the attenuation of multiple of short period. The new approach is based on sliding window of fixed length that is shifted sample by sample along of all seismic trace. At each position a new filter is computed and applied. The implied systems of equations are solved by using a recursive Levinson-type algorithm developed by Porsani (1986). The main difference with respect to the conventional Wiener-Levinson approach is that the filter is updated each data sample along the trace and no assumption is imposed to the data outside the considered window.

The new predictive deconvolution adaptive approach was tested using a seismic line of the Jequitinhonha basin acquired by PETROBRAS. The results obtained demonstrates that the new approach is very precise to the attenuation of short-period multiple, given better results than the ones obtained from the conventional Wiener-Levinson predictive deconvolution approach. The better results were obtained by using filters of 25 coefficients, predictive distance of 5 samples and window of length equal to 55 samples.

ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 O Método de Deconvolução Preditiva	3
1.1 Fundamentos teóricos	3
1.2 Deconvolução Preditiva de Wiener-Levinson ($L > 1$)	4
1.3 Deconvolução preditiva de Morf	6
1.4 Deconvolução adaptativa	7
1.4.1 Deconvolução adaptativa de Wiener-Levinson	8
1.4.2 Deconvolução adaptativa de Morf	8
CAPÍTULO 2 Metodologia	9
2.1 Processamento convencional	9
2.2 Aplicação da deconvolução preditiva de Wiener-Levinson com janelas de tempo fixas	12
2.3 Aplicação da deconvolução adaptativa de Morf	13
CAPÍTULO 3 Resultados	19
3.1 Resultados da deconvolução preditiva de WL com janelas fixas no tempo . . .	19
3.2 Resultados da deconvolução adaptativa de Morf com janelas deslizantes . . .	21
CAPÍTULO 4 Etapas Finais do processamento	29
4.1 Fluxograma final	41
CAPÍTULO 5 Conclusões	42
Agradecimentos	43

APÊNDICE A	Recursão de Levinson monocanal de predição arbitrária	
	$L > 1$	44
Referências Bibliográficas		47

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Fluxograma de processamento convencional.	10
2.2	Filtro trapezoidal passa-banda e as frequências utilizadas.	10
2.3	Tiro 35 (a) original (b) após a edição, o mute e a aplicação do filtro passa-banda. Em (b) foi aplicado um ganho automático.	11
2.4	Janelas em tempo, $J_f(i)$, utilizadas para fazer a deconvolução no Focus. . . .	12
2.5	Esquema mostrando a relação entre a janela de deconvolução inicial $J(i)$ e a janela móvel J_m	13
2.6	Esquema mostrando a mobilidade da janela móvel J_m	14
2.7	Determinação das janelas iniciais de deconvolução, $J(i)$, do painel de afastamento mínimo.	16
2.8	As janelas iniciais, $J(i)$, referentes ao painel de afastamento 1725.	17
2.9	As janelas iniciais, $J(i)$, referentes ao painel de afastamento máximo.	18
3.1	CDP 298 (a) original e (b) após a deconvolução preditiva de WL com janelas fixas no tempo.	20
3.2	Painel de AC 250 original	22
3.3	Painel de AC 250 após a deconvolução com os parâmetros iniciais: $n = 10$ e $J_m = 3 * n$	23
3.4	Painel de AC 250 após a deconvolução utilizando os parâmetros: $n = 25$ e $J_m = 2, 2 * n$	24
3.5	Painel de afastamento 250 até 1,5s (a) área ampliada do dado original e (b) área ampliada do dado após a deconvolução de Morf.	25
3.6	Painel de afastamento 250 de 1,5s até 3.0s (a) área ampliada do dado original e (b) área ampliada do dado após a deconvolução de Morf.	25
3.7	Painel de AC máximo original.	26
3.8	Painel de afastamento máximo após a deconvolução utilizando os parâmetros: $n = 25$ e $J_m = 2, 2n$	27
3.9	CDP 298 (a) original e (b) após a deconvolução adaptativa de Morf com janelas deslizantes.	28
4.1	Fluxograma do processamento usado na obtenção da seção sísmica empilhada preliminar, antes da atenuação das múltiplas.	29
4.2	Espectro de velocidade preliminar.	32
4.3	Seção empilhada preliminar.	33

4.4	CDP 298 (a) após a deconvolução preditiva de WL com janelas de tempo fixas e (b) após o filtro PB.	34
4.5	CDP 298 (a) após a deconvolução adaptativa de Morf com janelas deslizantes e (b) após o filtro PB.	35
4.6	Análise de velocidade final.	36
4.7	Seção empilhada após a deconvolução preditiva de WL com janelas fixas. . .	37
4.8	Seção empilhada após a deconvolução adaptativa de Morf.	38
4.9	Área ampliada (a) da seção empilhada após a deconvolução preditiva de WL e (b) após a deconvolução adaptativa de Morf.	39
4.10	Comparação dos resultados em uma área ampliada (a) da seção empilhada após a deconvolução preditiva de WL e (b) após a deconvolução adaptativa de Morf.	39
4.11	Seção migrada após a deconvolução adaptativa de Morf.	40
4.12	Fluxograma final do processamento adotado neste trabalho.	41

ÍNDICE DE TABELAS

2.1	Parâmetros de aquisição da linha sísmica 214-0266.	9
2.2	Parâmetros utilizados na deconvolução de WL com janelas fixas.	12
2.3	Parâmetros definidos para fazer a deconvolução adaptativa de Morf.	15

INTRODUÇÃO

A sismica de reflexão tem como objetivo a obtenção de seções sísmicas que melhor representem as estruturas geológicas em subsuperfície. E, a presença de múltiplas numa seção final prejudica a interpretação, pois elas podem ser erroneamente interpretadas como eventos primários ou, simplesmente, se sobrepor a estes, dificultando sua identificação. A eliminação da interferência entre reflexões múltiplas e primárias é de grande importância para a indústria do petróleo, sendo assim, um grande desafio para o processamento sísmico.

As reflexões múltiplas são ruídos coerentes oriundas da reverberação da energia sísmica em uma camada com fortes contrastes de impedância sendo refletida mais de uma vez nas interfaces em subsuperfície. A classificação das múltiplas é diversificada, podendo ser dividida quanto ao tempo de trânsito em: múltiplas de curto período e múltiplas de longo período.

As reflexões múltiplas de curto período são eventos superpostos aos eventos primários que lhes deram origem e estão associadas à camadas pouco espessas. As reflexões de longo período são eventos distintos das reflexões primárias que lhe deram origem (Pontes, 1985).

A atenuação de múltiplas é objeto de estudos de vários trabalhos científicos e da indústria do petróleo. A maioria das técnicas de atenuação e/ou supressão explora as diferenças no sobretempo normal (NMO - *normal moveout*) e as características periódicas desses eventos, apesar de que, as múltiplas de curto período, em especial, por não apresentarem uma periodicidade bem definida sendo assim mais difíceis de serem preditas e assim suprimidas, representam um grande problema a ser resolvido durante o processamento dos dados sísmicos.

Os primeiros estudos sobre a atenuação das múltiplas foi feito com base no empilhamento CMP (*Common Mid Point*). O empilhamento CMP, após a correção de NMO (Schneider et al., 1965; Yilmaz, 1987), combinado ou não com o filtro F-K (Claerbout, 1976; Ryu, 1982), pode produzir bons resultados na atenuação das amplitudes das múltiplas de longo período (Santos, 2000).

O método denominado deconvolução sísmica é frequentemente empregado para comprimir o pulso sísmico e, portanto, melhorar a definição das reflexões nos dados registrados. Também permite a remoção de reverberações e eventos múltiplos, restaurando, assim, da melhor maneira possível, a refletividade (Montenegro, 1996). Vários trabalhos geofísicos discutem a utilização da deconvolução para a atenuação de múltiplas. Um dos primeiros a fazer uso dessa ferramenta foi Robinson (1957), e ela foi denominada de deconvolução preditiva

por Peacock e Treitel (1969). Mais tarde, Robinson e Treitel (1980) englobaram a essa teoria a filtragem de Wiener-Levinson com a distância de predição unitária.

A deconvolução preditiva é um método estatístico que se baseia na periodicidade das múltiplas. Entretanto, este método tem sucesso restrito aos afastamentos curtos e meios horizontalmente estratificados, onde se observa uma maior periodicidade entre as reflexões primárias e suas múltiplas (Santos, 2000). Maciel (2007), utilizou a deconvolução preditiva Wiener-Levinson multicanal para atenuação das múltiplas de longo período.

Outra limitação do método é a estacionariedade do processo. Para resolver esse problema, alguns autores (Clarke, 1968; Griffiths et al., 1977; Wang, 1969) desenvolveram a deconvolução adaptativa, onde, em condições de não estacionariedade do pulso sísmico, o traço registrado é dividido em janelas. Em cada janela é determinado e aplicado um filtro específico.

O presente trabalho visa a atenuação de múltiplas de curto período aplicando a deconvolução preditiva adaptativa, ou seja, utilizando determinado número de amostras do traço. Foram testados dois métodos, a deconvolução adaptativa de Wiener-Levinson (WL) com janelas fixas e a deconvolução preditiva de Morf com janelas deslizantes, o algoritmo adaptativo de Morf calcula o filtro sem fazer nenhuma premissa do traço fora da janela, diferentemente do filtro de Wiener que considera amplitudes nulas das amostras do traço que estão fora da janela.

O trabalho está organizado da seguinte maneira. O capítulo 1 apresenta o método de deconvolução preditiva. No capítulo 2 apresentamos a metodologia que foi empregada, o processamento da linha sísmica 214-0266 da Bacia de Jequitinhonha, a forma como atua a deconvolução e como ela é adaptada aos problemas desse dado. Os resultados das deconvoluções estão mostrados no capítulo 3. No capítulo 4 estão as etapas finais do processamento, as seções empilhadas e a seção migrada. As conclusões e sugestões estão no capítulo 5.

CAPÍTULO 1

O Método de Deconvolução Preditiva

1.1 Fundamentos teóricos

O traço sísmico é composto por uma superposição de assinaturas da fonte e pode ser representado por um modelo matemático chamado de modelo convolucional. Sendo o ruído desprezível, o traço sísmico é dado a seguir,

$$x(t) = p(t) * e(t) * m(t), \quad (1.1)$$

onde,

- $x(t)$ representa o traço sísmico;
- $p(t)$ representa o pulso sísmico;
- $e(t)$, também chamado de função refletividade, representa a resposta impulsiva da terra excluindo as múltiplas associadas com o fundo do mar;
- $m(t)$ representa o trem de onda da reverberação da camada de água (Yilmaz, 1987);
- $*$ representa a operação de convolução.

Um filtro preditivo prediz eventos periódicos, como múltiplas no sismograma, permitindo que a componente estimada seja removida do traço sísmico.

A deconvolução preditiva pode ser usada para estimar o pulso sísmico, $p(t)$, ou prever e suprimir esta componente periódica no sismograma, isto é, prever as múltiplas, $m(t)$. O primeiro objetivo é obtido usando um operador com distância de predição unitária, (Robinson, 1957; Treitel e Lines, 1982; Yilmaz, 1987), no qual, utilizando $L=1$, o pulso é comprimido para uma função Delta de Dirac, pois ocorrerá a deconvolução ao impulso e o traço resultante representará idealmente a resposta impulsiva da terra. Enquanto que para prever e suprimir as múltiplas é necessário que L seja maior que a unidade.

O operador preditivo de erro terá sua ação deslocada no tempo sobre amostras situadas a tempos avançados, o que nos permite escolher convenientemente o valor de L , de forma a

obter um operador que atue na zona de múltiplas, de modo a atenuá-las (Robinson e Treitel, 1980).

1.2 Deconvolução Preditiva de Wiener-Levinson ($L > 1$)

A filtragem preditiva é descrita pela fórmula de convolução discreta e é representada na forma de predição linear (Robinson e Treitel, 1980) da seguinte forma,

$$\tilde{x}_{t+L} = \sum_{k=1}^n x_{t-k+1} \tilde{a}_k, \quad (1.2)$$

onde,

- $\tilde{x}_{t+L}$ representa o sinal predito no tempo $t + L$, a partir da combinação linear dos valores de $x_t, \dots, x_{t-n+1}$;
- L representa a distância de predição;
- $\tilde{a}_k$ é o filtro de predição.

O erro de predição na amostra $t + L$, ϵ_{t+L} , representa a diferença entre a amostra lida e amostra calculada e, é dado por,

$$\epsilon_{t+L} = x_{t+L} - \tilde{x}_{t+L}. \quad (1.3)$$

A equação (1.3) pode ser representada em termos da equação (1.2) como mostra a seguir,

$$\epsilon_{t+L} = x_{t+L} - \sum_{k=1}^n x_{t-k+1} \tilde{a}_k. \quad (1.4)$$

O operador de erro com distância de predição L é representado da seguinte forma,

$$1, \underbrace{0, 0, \dots, 0}_{L-1 \text{ zeros}}, -\tilde{a}_1, -\tilde{a}_2, \dots, -\tilde{a}_n. \quad (1.5)$$

Sendo que os n coeficientes não nulos do filtro atuarão sobre o traço sísmico, x_t , a tempos passados preservando as L amostras referentes às reflexões primárias.

Utilizando uma notação matricial, para $L=3$ e $n=3$, é possível escrever,

$$\begin{pmatrix} e_0 \\ e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \\ \vdots \\ e_{t+3} \\ \vdots \\ e_m \\ e_{m+1} \\ e_{m+2} \\ e_{m+3} \\ e_{m+4} \\ e_{m+5} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_2 & x_1 & x_0 & 0 & 0 & 0 \\ x_3 & x_2 & x_1 & x_0 & 0 & 0 \\ x_4 & x_3 & x_2 & x_1 & x_0 & 0 \\ x_5 & x_4 & x_3 & x_2 & x_1 & x_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{t+3} & x_{t+2} & x_{t+1} & x_t & x_{t-1} & x_{t-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m & x_{m-1} & x_{m-2} & x_{m-3} & x_{m-4} & x_{m-5} \\ 0 & x_m & x_{m-1} & x_{m-2} & x_{m-3} & x_{m-4} \\ 0 & 0 & x_m & x_{m-1} & x_{m-2} & x_{m-3} \\ 0 & 0 & 0 & x_m & x_{m-1} & x_{m-2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_m & x_{m-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_m \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -\tilde{a}_1 \\ -\tilde{a}_2 \\ -\tilde{a}_3 \end{pmatrix}. \quad (1.6)$$

Observa-se na matriz (1.6) que $e_j = x_j$, para $j=0,1,2$, logo, as L amostras do traço que se referem as primárias são preservadas.

A forma quadrática correspondente ao vetor de erro de predição é,

$$Q = \sum_t e_t^2, \quad (1.7)$$

Os coeficientes do operador preditivo de erro (OPE) deve ser calculado de maneira que o erro quadrático seja mínimo. Minimizando o erro quadrático e colocando na forma expandida das Equações Normais (ENs), obtêm-se,

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & \dots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & r_1 \\ r_{n-1} & \dots & r_1 & r_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} -\tilde{a}_1 \\ -\tilde{a}_2 \\ \vdots \\ -\tilde{a}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_L \\ r_{L+1} \\ \vdots \\ r_{L+n-1} \end{pmatrix}. \quad (1.8)$$

A matriz (1.8) possui bandamentos em relação à diagonal principal e é conhecida como matriz de autocorrelação banda-estruturada Toeplitz cujos coeficientes representam uma estimativa da autocorrelação ($r_j = \sum_k x_k x_{k-j}$) do pulso sísmico.

O método de deconvolução convencional WL estima o filtro inverso com base no Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) que resulta no sistema de ENs mostrado em (1.8). Para um filtro de N coeficientes, este sistema pode ser resolvido através da Recursão de Levinson

(RL). Este método pressupõe que o pulso sísmico seja de fase mínima, uma vez que o filtro inverso obtido como solução das ENs é sempre de fase mínima, logo, sua utilização em dados reais nem sempre satisfazem as premissas implícitas no método.

O vetor $\tilde{a}$ minimiza o erro na equação (1.8). E em função dos elementos deste vetor é possível obter a expressão da soma total dos erros minimizados $E_{a,n}$,

$$\min \{Q\} = E_{a,n} = r_0 - \sum_{k=1}^n r_{L+k} \tilde{a}_k. \quad (1.9)$$

Pela combinação das expressões (1.8) e (1.9), obtêm-se a forma ampliada das ENs. Para simplificar o vetor $\tilde{a}$ adota-se $-\tilde{a}_j = a_j$, $j = 1, \dots, n$.

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_L & r_{L+1} & \dots & r_{L+n-1} \\ r_L & r_0 & r_1 & \dots & r_{n-1} \\ r_{L+1} & r_1 & r_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & r_1 \\ r_{L+n-1} & r_{n-1} & \dots & r_1 & r_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{a,n} \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (1.10)$$

O apêndice A apresenta a RL para a obtenção do filtro de predição arbitrária $L > 1$.

1.3 Deconvolução preditiva de Morf

Morf et al. (1977) desenvolveram um eficiente algoritmo tipo Levinson para solução das ENs associadas ao problema de predição linear, no qual não é feita qualquer hipótese sobre os dados fora da janela considerada. Neste caso a matriz das ENs não mais terá a estrutura Toeplitz e o filtro inverso com o algoritmo de Morf terá contribuição apenas dos dados do interior da janela.

A obtenção do operador de predição direta, através da combinação linear dos valores passados, prediz cada ponto imediatamente à frente com o menor erro (Montenegro, 1996) e, em termos do MMQ tem a seguinte formulação,

$$\epsilon_{a,n} = x_{n+1} \begin{pmatrix} 1 \\ a_n \end{pmatrix}, \quad (1.11)$$

onde, $\begin{pmatrix} 1 & a_n^t \end{pmatrix}$ é o operador preditivo de erro direto (OPE) e,

$$x_{n+1} = \begin{pmatrix} x_n & \dots & x_0 \\ x_{n+1} & \dots & x_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m-1} & \dots & x_{m-n-1} \end{pmatrix}, \quad (1.12)$$

é a matriz correspondente ao sinal de entrada, x_t , com comprimento m .

As ENs na forma expandida são,

$$\begin{bmatrix} x_{n+1}^t & x_{n+1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a_n \end{pmatrix} = C_{a,n} \begin{pmatrix} 1 \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{a,n} \\ 0_n \end{pmatrix}. \quad (1.13)$$

Sabendo-se que $\epsilon_{b,n}$ representa o vetor de erro associado ao OPE reverso, então,

$$\epsilon_{b,n} = x_{n+1} \begin{pmatrix} b_n \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (1.14)$$

de forma análoga,

$$\begin{bmatrix} x_{n+1}^t & x_{n+1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} b_n \\ 1 \end{pmatrix} = C_{b,n} \begin{pmatrix} b_n \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0_n \\ E_{b,n} \end{pmatrix}. \quad (1.15)$$

Observa-se de (1.13) e (1.15) que $C_{a,n} = C_{b,n}$ e que seus elementos são função do número de coeficientes (n) do operador preditivo de erro. Fazendo $C_n = C_{a,n} = C_{b,n}$, é possível representar as equações (1.13) e (1.15) em uma única forma matricial,

$$C_n \begin{bmatrix} 1 & b_n \\ a_n & 1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} E_{a,n} & 0_n \\ 0_n & E_{b,n} \end{pmatrix}. \quad (1.16)$$

O algoritmo de Morf consegue resolver as duas equações mostradas em (1.16).

1.4 Deconvolução adaptativa

A deconvolução convencional considera que o processo é estacionário limitando-se pela natureza da variação do pulso sísmico com o tempo. A deconvolução adaptativa é uma ferramenta para superar essa limitação, onde o traço registrado pode ser dividido em janelas onde cada janela seria aproximadamente estacionária, assim, para cada janela seria determinado e aplicado um filtro específico.

Na deconvolução adaptativa o sismograma é tratado como um processo aleatório não estacionário, pois o pulso sísmico varia durante sua propagação. Em um sismograma de

reflexão isso resulta em uma variação com o tempo na qualidade e no conteúdo de frequência do pulso sísmico.

Os coeficientes do filtro são construídos usando um algoritmo adaptativo, que atualiza o filtro a cada ponto do traço, de forma a minimizar a energia do erro associado ao resultado da deconvolução.

Para a atuação do filtro há necessidade de uma estimativa inicial do tamanho da janela. Assim, uma janela deslizante com L amostras é definida e o filtro, com n coeficientes é atualizado a cada janela, onde, o filtro da janela na posição k passa a ser a solução da janela na posição $K+1$.

O resultado de cada deconvolução realizada dentro da janela k , com determinado número de amostras, pode ser feita uma média aritmética e empilhá-los e, este seria o resultado na posição $K+1$.

1.4.1 Deconvolução adaptativa de Wiener-Levinson

O termo janelas deslizantes do tipo WL refere-se a janelas de comprimento fixo de tempo definidas no intervalo $x_t, \dots, x_{t+L}$, impondo que os dados são iguais a zero fora do intervalo considerado, isto é, $x_k=0$ para $t > k > t + L$. Neste caso, para cada posição da janela, o sistema de ENs associado ao filtro preditivo tem a forma Toeplitz e pode ser resolvida com a RL.

Para uma janela definida o intervalo $x_k, \dots, x_{k+L}$, estima-se a autocorrelação e através da RL, calcula-se o filtro inverso WL de n coeficientes e assim, obtêm-se a resposta do filtro na posição $K + L$.

1.4.2 Deconvolução adaptativa de Morf

As janelas adaptativas de Morf com janelas deslizantes preservam a amplitude dos dados no intervalo de tempo considerado, assim como as janelas adaptativas de WL, entretanto, não impõem que os dados fora da janela sejam nulos. Porsani (1994), utilizando os princípios do algoritmo de Morf et al. (1977), desenvolveu um algoritmo adaptativo que atualiza o filtro preditivo de Morf da janela $J_{L,j}$ para ser solução da janela $J_{L,j+1}$, esse algoritmo faz uma associação entre as relações algébricas da matriz das ENs com as janelas subsequentes, $J_{L,j} = (x_j, \dots, x_{j+L})$ e $J_{L,j+1} = (x_{j+1}, \dots, x_{L+j+1})$.

Esse algoritmo adaptativo resolve de forma eficiente e exata as ENs para cada posição de janela deslizante em tempo, ao contrário das ENs com estrutura Toeplitz que são resolvidas através da RL, onde o operador OPE não é solução exata das ENs.

CAPÍTULO 2

Metodologia

Os métodos estudados, deconvolução preditiva monocal de Wiener-Levinson e janelas adaptativas deslizantes do tipo Morf, foram testados no dado real da Bacia de Jequitinhonha, depois de um processamento convencional realizado no *software* de processamento sísmico comercial Focus versão 5.3 da *Paradigm Geophysical*.

2.1 Processamento convencional

A linha 214-0266 fez parte de uma aquisição sísmica realizada na Bacia de Jequitinhonha, sul da Bahia, e este dado está no formato SEG Y no arcevo de dados do CPGG-UFBa. Os parâmetros de aquisição deste dado estão descritos na tabela 2.1. Visando a atenuação de múltiplas de curto período, não havia necessidade de trabalhar com todo o dado, assim, ele foi cortado em 4s resultando em 1001 amostras.

DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS	PARÂMETROS UTILIZADOS
Lanço/Spread (m)	0-150-3125
Intervalo entre receptores (m)	25
Intervalo entre tiros (m)	25
Número de tiros	1577
Número de canais	120
Intervalo de amostragem (ms)	4
Número amostras	1751
Tempo de registro (s)	7,00
Menor afastamento (m)	150
Maior afastamento (m)	3125

Tabela 2.1: Parâmetros de aquisição da linha sísmica 214-0266.

Antes de aplicar os métodos de deconvolução de múltiplas de curto período, foi feito um processamento básico composto por etapas fundamentais de preparação dos dados (geometria, edição, *mute* dos traços) e uma filtragem usando um filtro de frequência.

A Figura 2.1 mostra o fluxograma com as etapas do processamento.

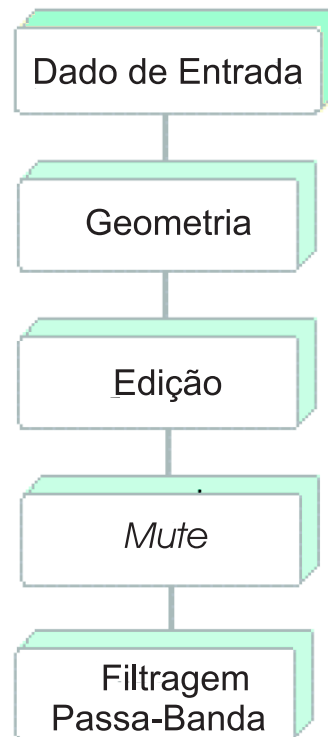


Figura 2.1: Fluxograma de processamento convencional.

Durante a geometria são determinados os parâmetros do levantamento sísmico, como a localização de cada fonte e receptor, com base no relatório de campo. A primeira etapa que trata da eliminação de ruídos é a edição e o *mute*/silenciamento dos traços, nessas etapas, são feitas a identificação e remoção dos traços com baixíssima razão sinal-ruído, bem como dos ruídos elétricos que contaminavam o início dos traços da linha sísmica 214-0266. O filtro de frequência utilizado foi o trapezoidal passa-banda com o intuito de eliminar as baixas e altas frequências, para isso, utilizamos as frequências mostradas na Figura 2.2. A Figura 3.1 mostra o tiro 35 original e após a filtragem passa-banda.

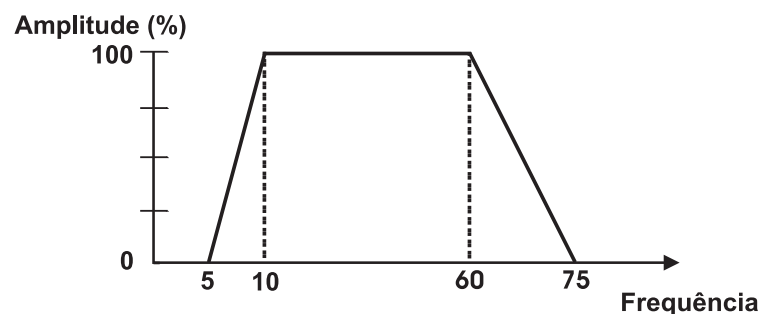


Figura 2.2: Filtro trapezoidal passa-banda e as frequências utilizadas.

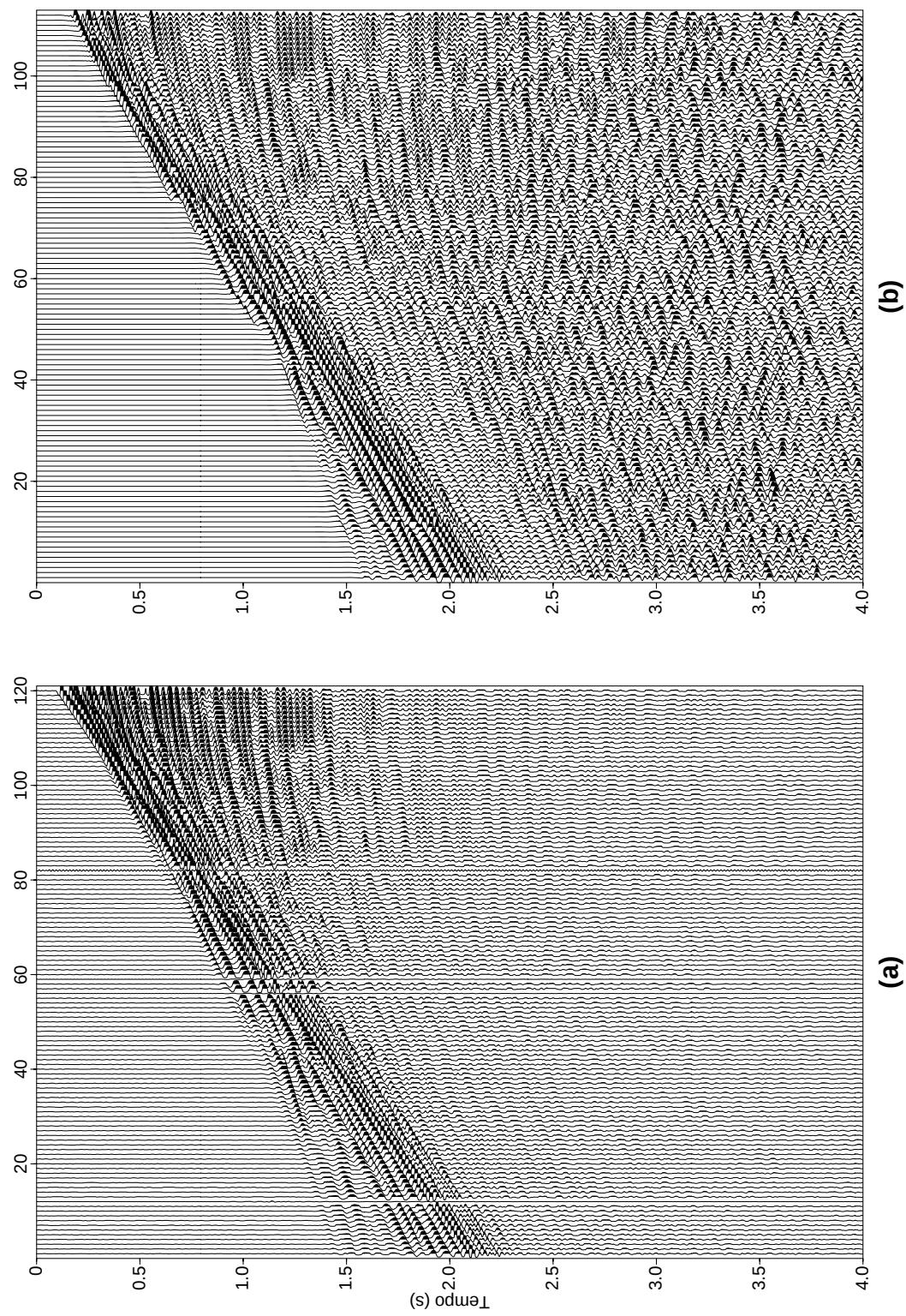


Figura 2.3: Tiro 35 (a) original (b) após a edição, o mute e a aplicação do filtro passa-banda. Em (b) foi aplicado um ganho automático.

2.2 Aplicação da deconvolução preditiva de Wiener-Levinson com janelas de tempo fixas

A deconvolução de WL com janelas fixas foi aplicada com o uso do módulo DECONA do *software* Focus. Este módulo aplica a deconvolução preditiva de Wiener-Levinson resolvendo as ENs através da RL e utiliza quatro janelas de tempo fixas ($J_f(i)$, $i = 1, 2, 3, 4$) para deconvolução, conforme Figura 2.4. Para aplicação do método o dado foi organizado em famílias CMP e os parâmetros usados para a deconvolução estão na tabela 2.2. Estes parâmetros (número de coeficientes do filtro e distância de predição) foram determinados durante o processo de deconvolução adaptativa de Morf que está descrito logo a seguir.

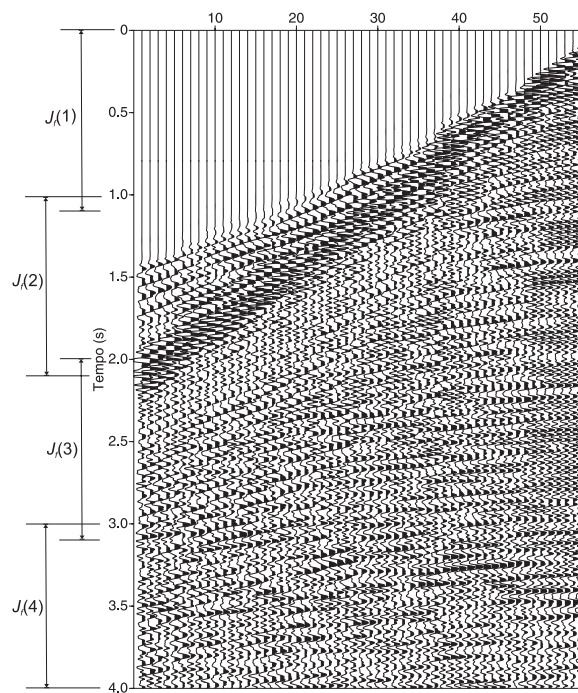


Figura 2.4: Janelas em tempo, $J_f(i)$, utilizadas para fazer a deconvolução no Focus.

DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS	PARÂMETROS UTILIZADOS
Numero de coeficientes do filtro (n)	25
Distância de predição (L)	5
Tamanho de cada janela de deconvolução em tempo (ms)	
$J_f(1)$	(0-1100)
$J_f(2)$	(1000-2100)
$J_f(3)$	(2000-3100)
$J_f(4)$	(3000-4000)

Tabela 2.2: Parâmetros utilizados na deconvolução de WL com janelas fixas.

2.3 Aplicação da deconvolução adaptativa de Morf

Após o processamento convencional, o dado foi exportado do *software* para que fosse aplicado o método de filtragem escrito na linguagem FORTRAN90. Em seguida, o dado foi organizado em painéis de afastamento comum - AC (*Common offset*). Para a realização dos testes de atenuação das múltiplas de curto período, foi separado o painel com menor afastamento (*near offset*). Apesar do interesse principal do trabalho concentrar-se nas múltiplas de curto período geradas na parte mais rasa da região de lâmina d'água, o método foi aplicado em todos os traços do painel.

A deconvolução é realizada em janelas de diferentes tamanhos. Existem duas janelas de deconvolução para cada traço, $J(i)$ e J_m . A janela $J(i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, 11$, é a janela inicial de deconvolução. O valor dessa janela varia a cada traço ao longo do painel, devido a essa variação, foram escolhidos 11 coordenadas correspondentes ao traço e ao número de amostras, para que fosse feito a interpolação destes valores para todos os traços do painel, permitindo a variação da janela inicial. O valor da janela J_m não varia, porém para que o sistema tenha estabilidade, a janela tem que ser maior que $(2 * n) + 2$, sendo que n é o número de coeficientes do filtro e que dentro da janela o sistema é estacionário. A janela J_m é móvel e será deslocada de amostra em amostra por todo o traço efetuando a deconvolução. A Figura 2.5 mostra a relação entre $J(i)$ e J_m .

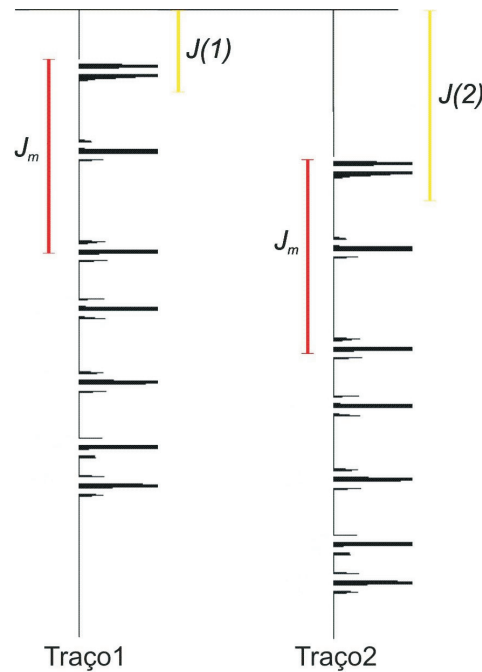


Figura 2.5: Esquema mostrando a relação entre a janela de deconvolução inicial $J(i)$ e a janela móvel J_m .

A janela J_m começará a atuar na posição $J(i) - J_m + 2$, o resultado dessa filtragem será gravado num arquivo auxiliar. Em seguida, a janela J_m passará para a posição $Jn - J0 + 3$ e, novamente, o filtro atuará em cada amostra desta janela e o resultado também será guardado no mesmo arquivo auxiliar sem eliminar o resultado anterior e assim por diante até a última amostra do traço. Portanto haverá amostras que foram deconvolidas várias vezes a depender do número do coeficiente do filtro e que todos esses resultados foram gravados num arquivo auxiliar. Para não perder essa quantidade de informações obtidas para cada amostra, é feita uma média aritmética das informações de cada amostra para obtermos o resultado final. A Figura 2.6 mostra como é efetuada esta média aritmética que também chamamos de empilhamento. Observa-se nesta Figura que o filtro passará três vezes pelas amostras três e quatro, estes três resultados obtidos para cada ponto serão empilhados.

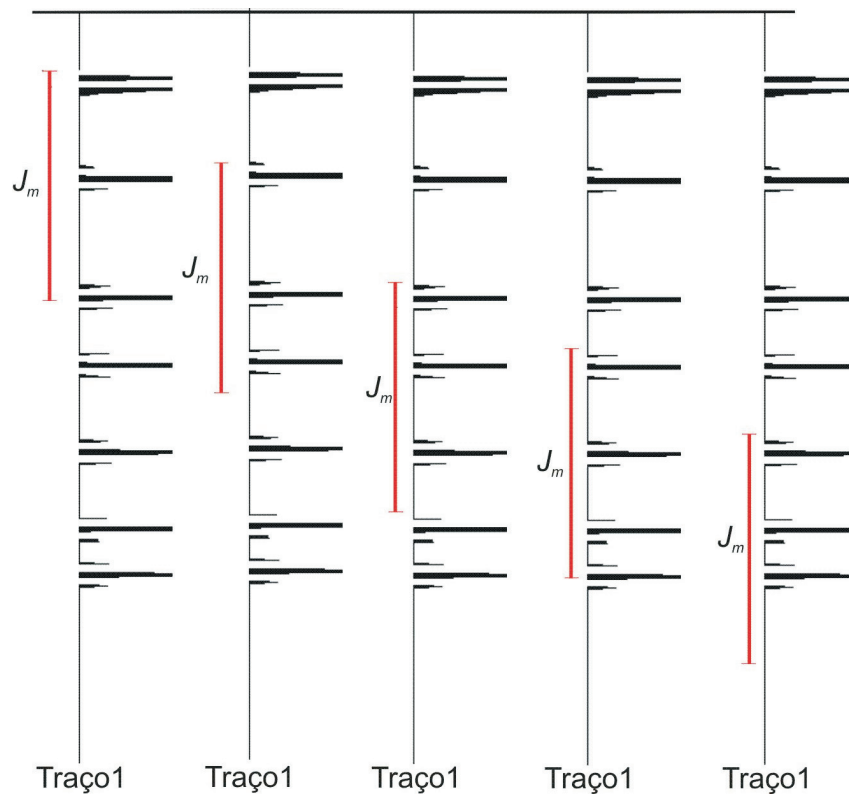


Figura 2.6: Esquema mostrando a mobilidade da janela móvel J_m .

Escolhidos os valores da janela $J(i)$ do painel de afastamento mínimo (Figura 2.7), os testes passaram a ser realizados com a variação do comprimento do filtro (n coeficientes) e do tamanho da janela (J_m) para verificação do comportamento do algoritmo de Morf.

Inicialmente, foi utilizado um filtro de comprimento igual a cinco amostras ($n=5$) e $J_m = 3 * n$, experimentalmente, este valor foi se aproximando de valores que melhor suprimiam as múltiplas de curto período. Os valores que ficaram definidos para fazer a deconvolução estão descritos na tabela 2.3.

DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS	PARÂMETROS UTILIZADOS
Número de coeficientes do filtro (n)	25
Distância de predição (L)	5
Tamanho da janela de deconvolução (J_m)	$2, 2 * n$

Tabela 2.3: Parâmetros definidos para fazer a deconvolução adaptativa de Morf.

Certificando-se da eficiência do método no painel de afastamento mínimo, e determinando os melhores valores dos coeficientes, o filtro foi aplicado em todo o dado.

A Figura 2.8 mostra o painel de afastamento intermediário entre o mínimo e o máximo e, a Figura 2.9 mostra o painel de afastamento máximo, observa-se nestas Figuras que os valores da janela inicial $J(i)$ são diferentes daqueles definidos para o painel de afastamento mínimo, e estes valores variam para cada painel. Assim, foram determinados os valores de $J(i)$ do painel de afastamento mínimo e do painel de afastamento máximo e à medida que mudar o painel estes valores serão interpolados entre o primeiro e o último, variando, assim, os valores das janelas iniciais dos traços dentro de cada painel. Para isso, é feito uma interpolação entre o valor da janela $J(1)$ do painel de afastamento mínimo e $J(1)$ do painel de afastamento máximo, e entre o valor de $J(2)$ do painel de afastamento mínimo e $J(2)$ do painel de afastamento máximo, e então são encontrados os valores de $J(1)$ e $J(2)$ para o mesmo painel, estes valores serão interpolados conforme foi mostrado anteriormente e assim por diante.

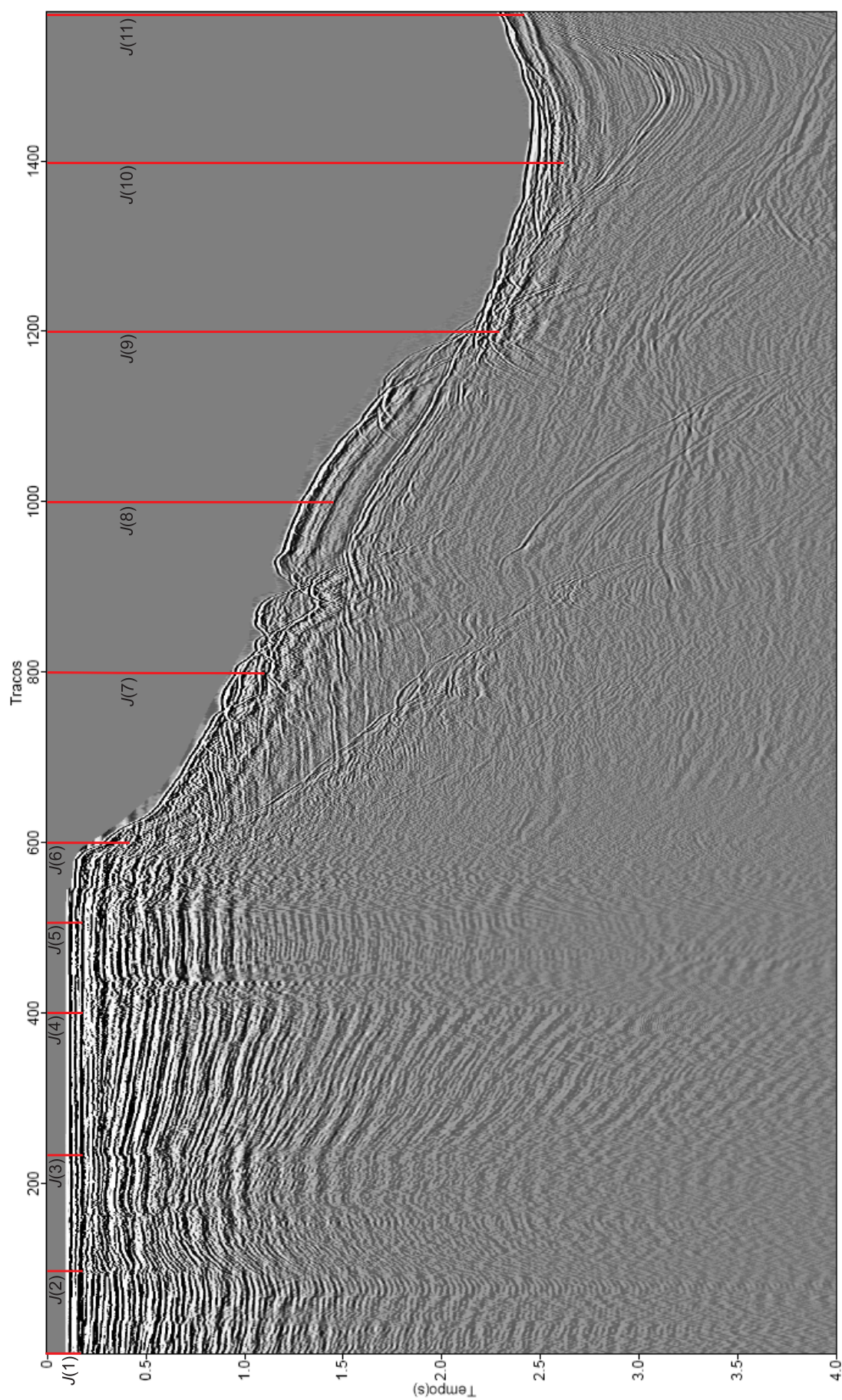


Figura 2.7: Determinação das janelas iniciais de deconvolução, $J(i)$, do painel de afastamento mínimo.

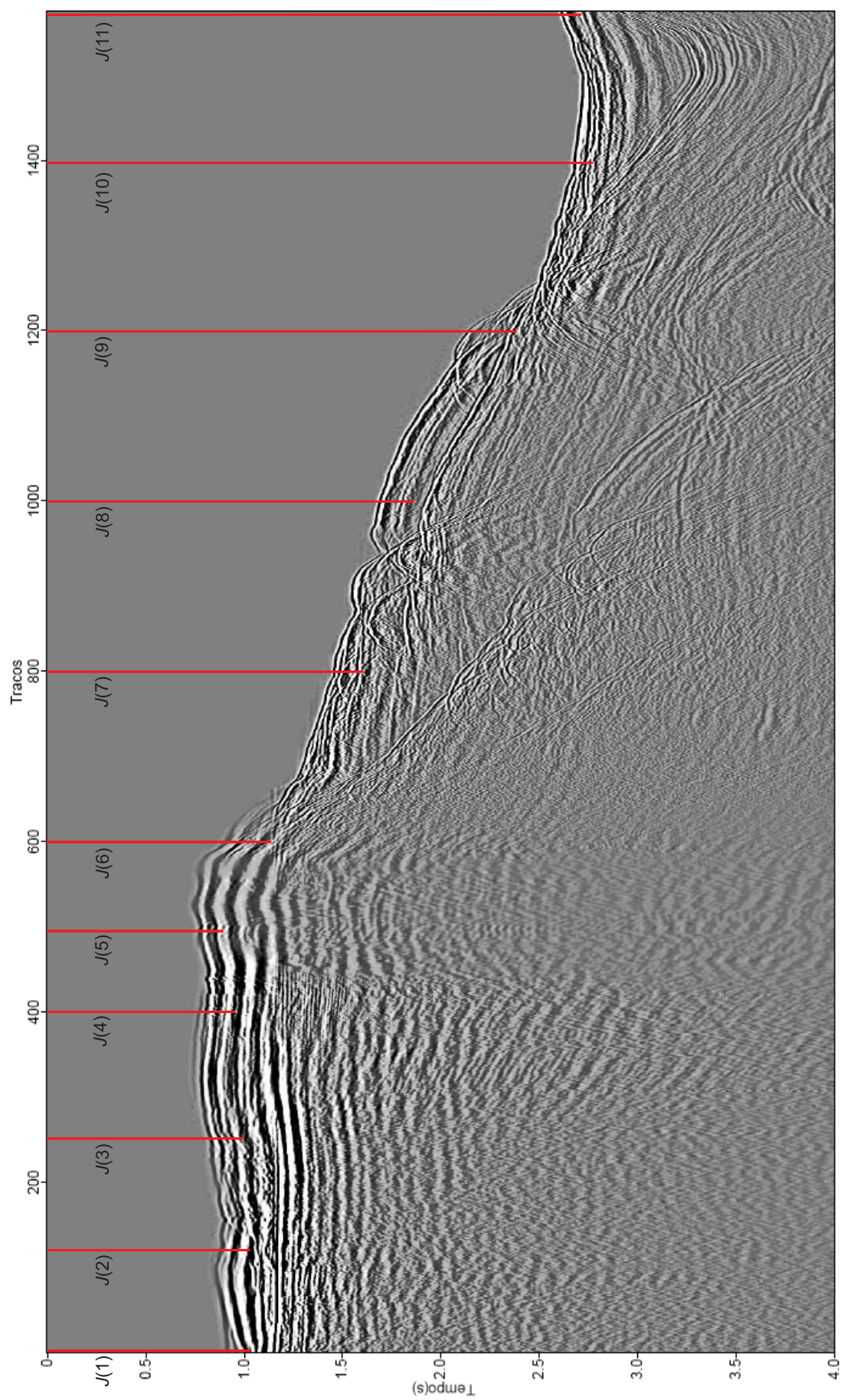


Figura 2.8: As janelas iniciais, $J(i)$, referentes ao painel de afastamento 1725.

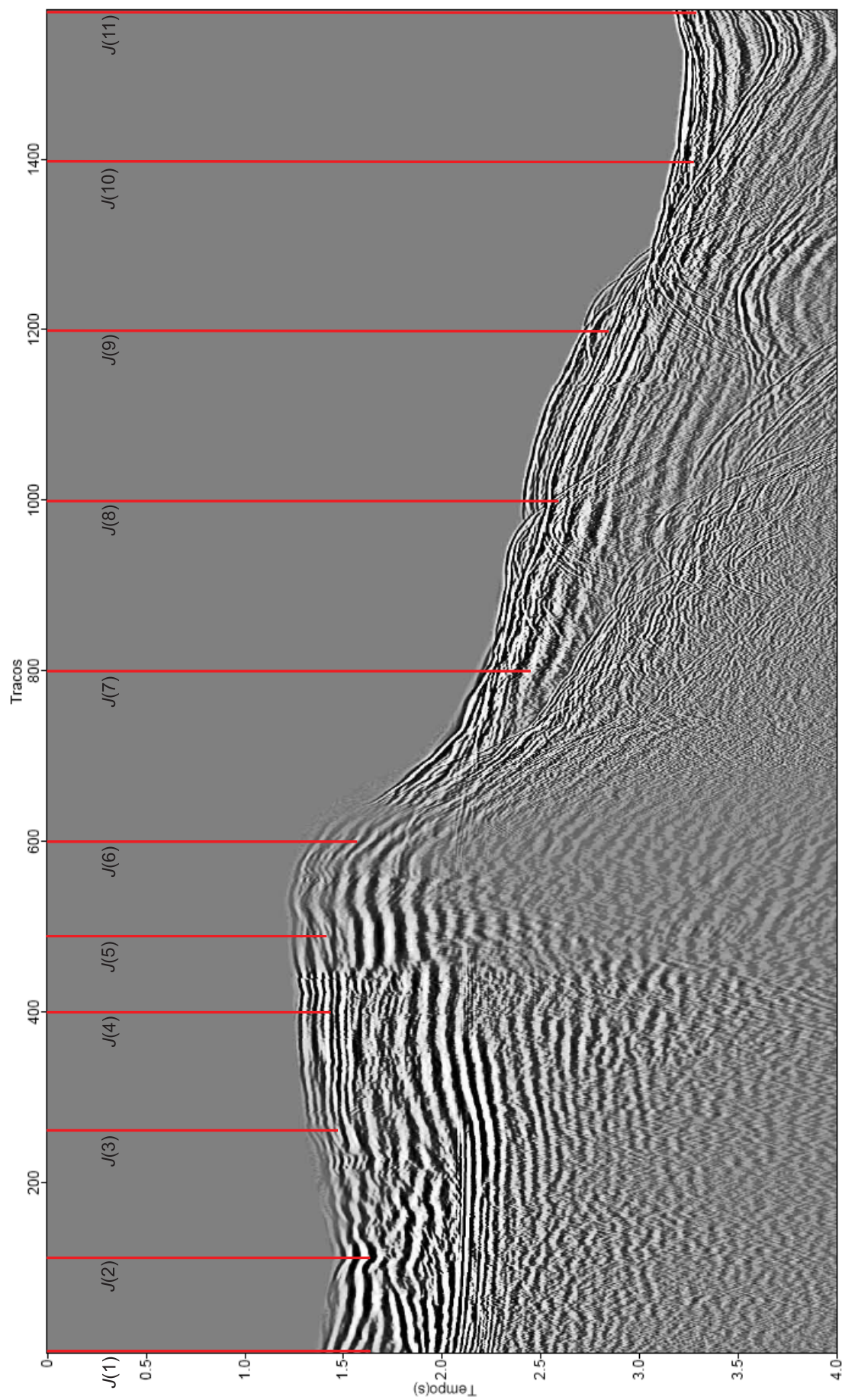


Figura 2.9: As janelas iniciais, $J(i)$, referentes ao painel de afastamento máximo.

CAPÍTULO 3

Resultados

3.1 Resultados da deconvolução preditiva de WL com janelas fixas no tempo

O método foi aplicado no domínio CMP, inicialmente separamos o CMP 298 (Figura 3.1(a)) para iniciarmos os testes com o intuito de verificarmos o comportamento da deconvolução preditiva de WL com os mesmos parâmetros que foram definidos como ótimos na deconvolução adaptativa de Morf com janelas deslizantes. O resultado obtido com o número de coeficientes do filtro (n) igual a 25 amostras ($0,10s$) e a distância de predição (L) igual a 5 amostras ($0,02s$) é mostrado na Figura 3.1(b).

Comparando a Figura 3.1(a) e a Figura 3.1(b), observa-se que grande parte das reverberações que se repetem em todo o CMP em (a), consegue ser atenuado em (b), e que os eventos estão mais bem definidos e comprimidos em (b) do que em (a). Assim, os parâmetros utilizados mostraram resultados favoráveis.

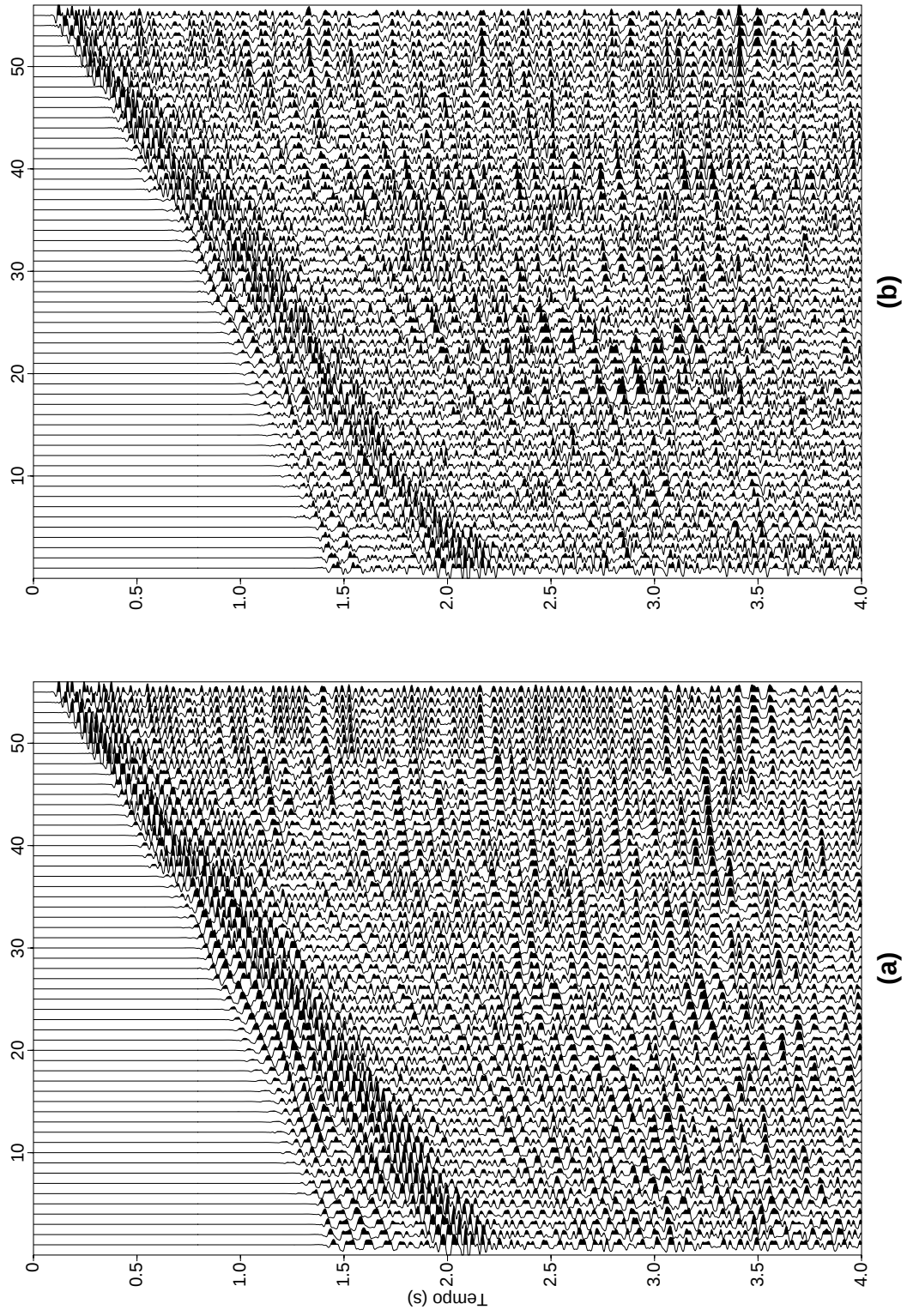


Figura 3.1: CDP 298 (a) original e (b) após a deconvolução preditiva de WL com janelas fixas no tempo.

3.2 Resultados da deconvolução adaptativa de Morf com janelas deslizantes

A deconvolução adaptativa de Morf foi aplicada no dado no domínio offset. Para mostrar os resultados dos testes escolhemos o painel de afastamento 250 (Figura 3.2). Inicialmente realizamos a deconvolução com $n=10$ amostras ($0,04s$), $L=5$ amostras ($0,02s$) e o tamanho da janela móvel de deconvolução (J_m) igual a 30 amostras ($0,12s$). O resultado desse primeiro teste está mostrado na Figura 3.3. Observa-se que para estes parâmetros o método consegue atenuar parte das múltiplas principalmente abaixo do tempo de trânsito de $1,5s$, porém não representa ainda um resultado satisfatório.

Ao utilizarmos $n=25$ amostras ($0,10s$), mantendo o valor de $L=5$ amostras ($0,02s$) e mudando J_m para 55 amostras ($0,22$), verificamos que os resultados obtidos com estes parâmetros (Figura 3.4) são melhores do que aqueles obtidos anteriormente (Figura 3.3). Observamos na Figura 3.4 que ocorre atenuação das múltiplas de curto período em toda a região de lâmina d'água rasa e abaixo do tempo $1,5s$ a atenuação é mais efetiva com a deconvolução adaptativa de Morf do que com a deconvolução adaptativa de WL.

A Figura 3.5 mostra uma área ampliada das Figuras 3.2 e 3.4 acima do tempo de $1,5s$, onde na Figura (a) temos o dado original e em (b) o dado após a atenuação das múltiplas de curto período com a deconvolução adaptativa de Morf utilizando os parâmetros que deram os melhores resultados.

A Figura 3.6 mostra também uma região ampliada das Figuras 3.2 e 3.4 mas agora abaixo de $1,5s$. Novamente na Figura (a) apresentamos o dado original e em (b) o dado após a deconvolução adaptativa de Morf.

Com os parâmetros já definidos, o método foi aplicado em todos os painéis de AC. Na Figura 3.7, antes da deconvolução, observa-se que há bastante reverberação da energia sísmica no painel de afastamento máximo. A Figura 3.8 mostra que esta reverberação pode ser atenuada com aplicação da deconvolução adaptativa de Morf.

Observando as Figuras 3.4 e 3.8, nota-se que abaixo de $4,8s$ aproximadamente a amplitude do traço sísmico é atenuada. Isso acontece devido a média aritmética (empilhamento) que está sendo feita com o resultado obtido com a deconvolução.

O resultado desta deconvolução no domínio CDP está mostrado na Figura 3.9. Em (a) apresentamos o CDP 298 original e em (b) após a deconvolução adaptativa de Morf. Observa-se que grande parte da reverberação foi atenuada mas, houve um aumento excessivo das altas frequências sendo necessário fazer a aplicação de uma filtragem de frequência.

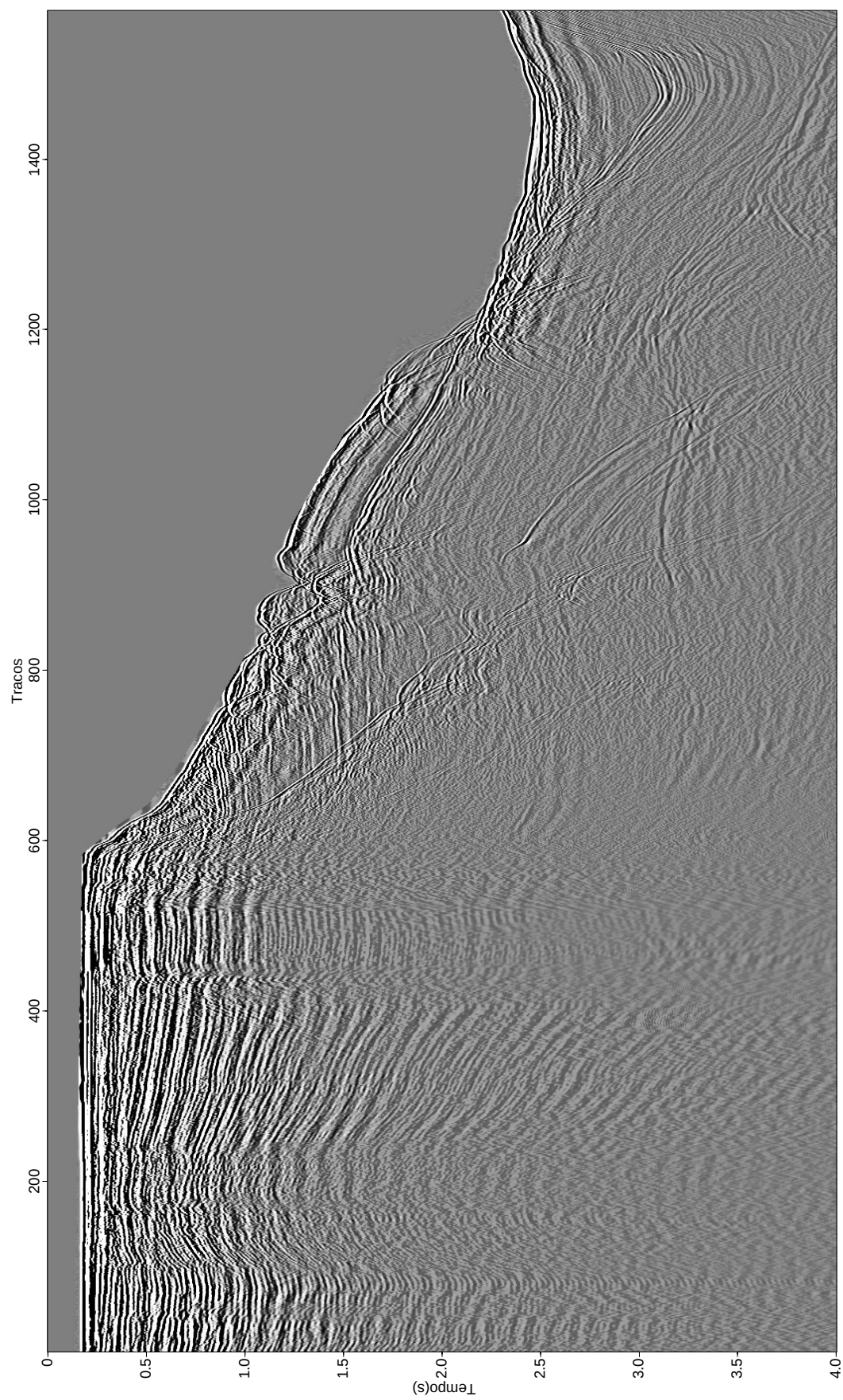


Figura 3.2: Painel de AC 250 original

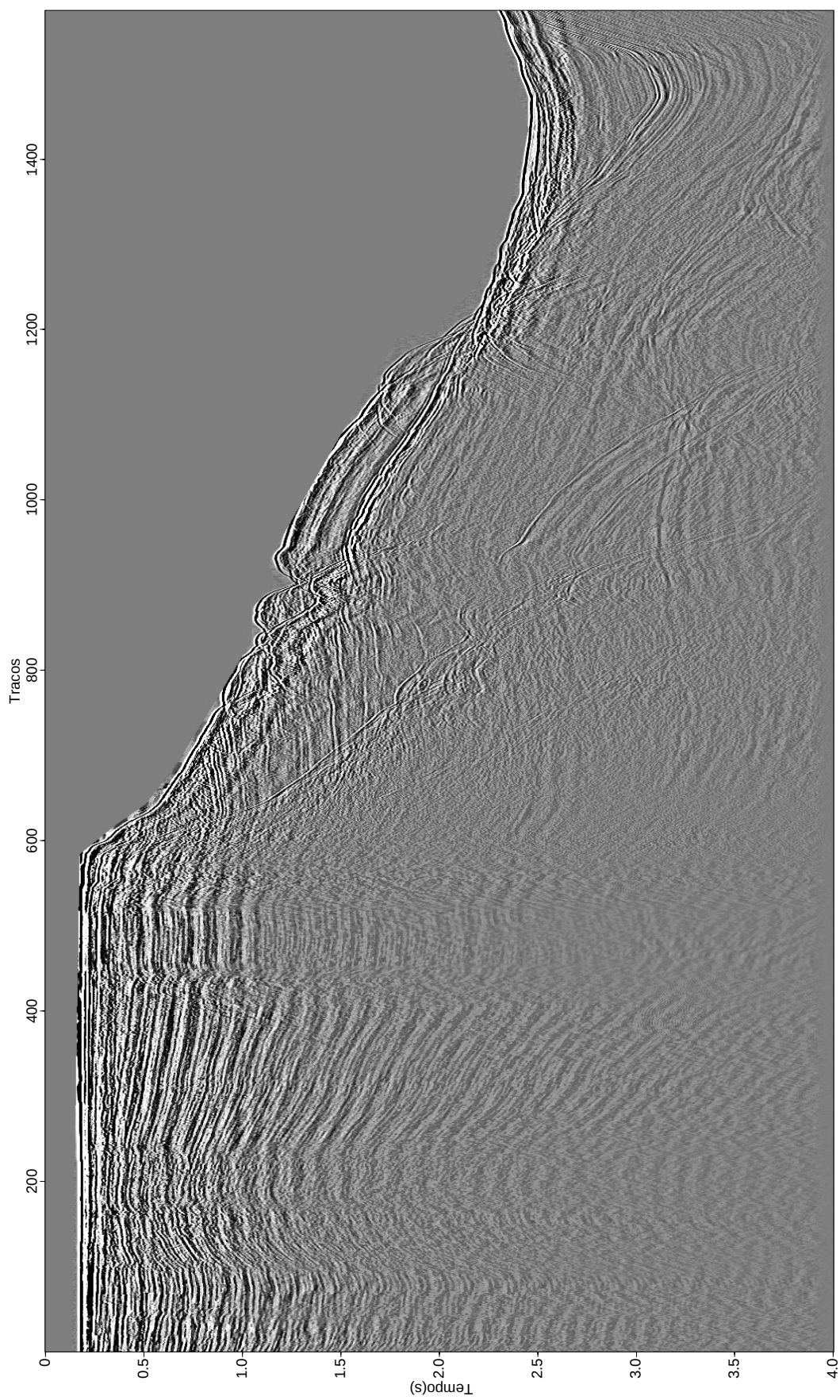


Figura 3.3: Painel de AC 250 após a deconvolução com os parâmetros iniciais: $n = 10$ e $J_m = 3 * n$.

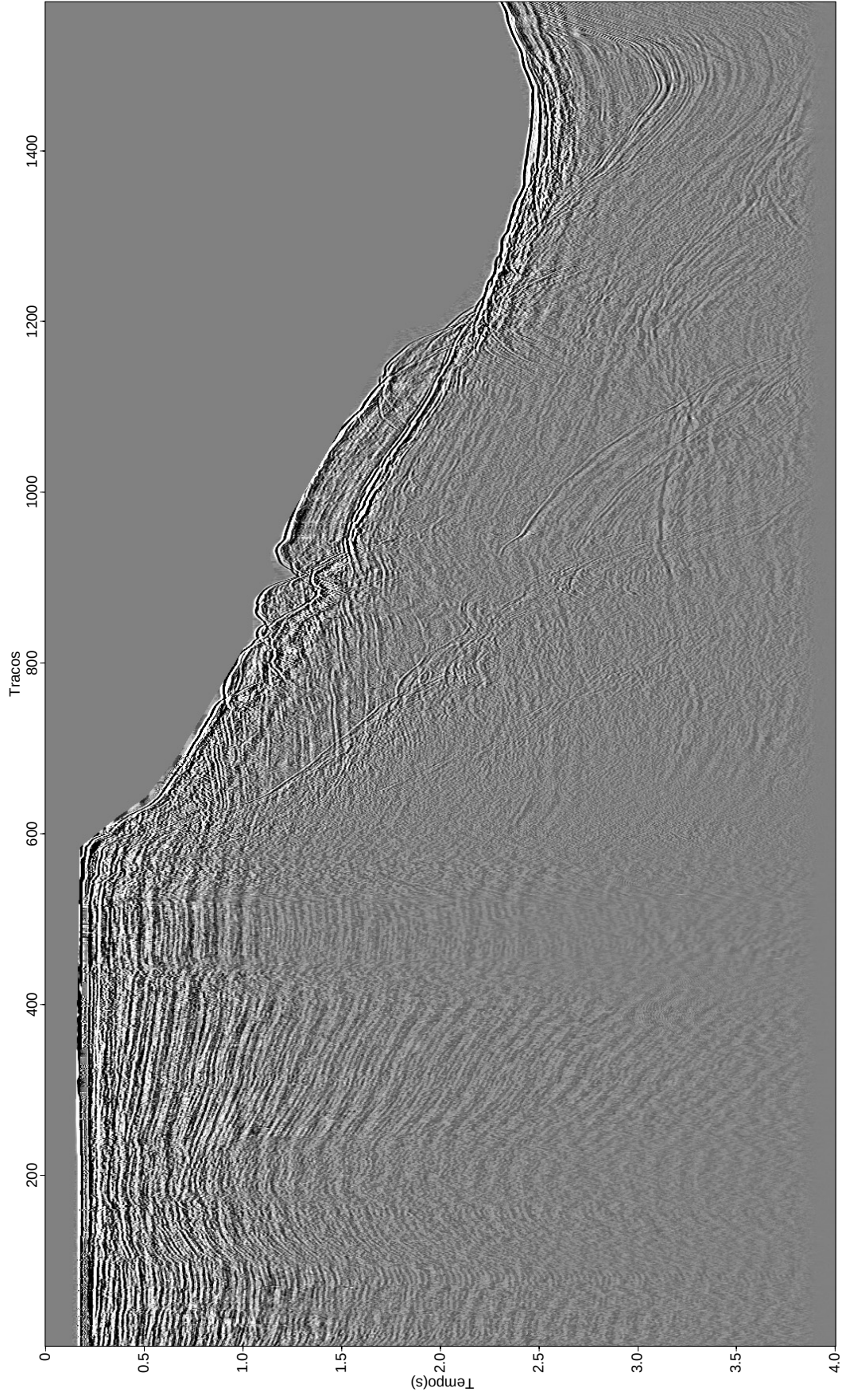


Figura 3.4: Painel de AC 250 após a deconvolução utilizando os parâmetros: $n = 25$ e $J_m = 2, 2 * n$.

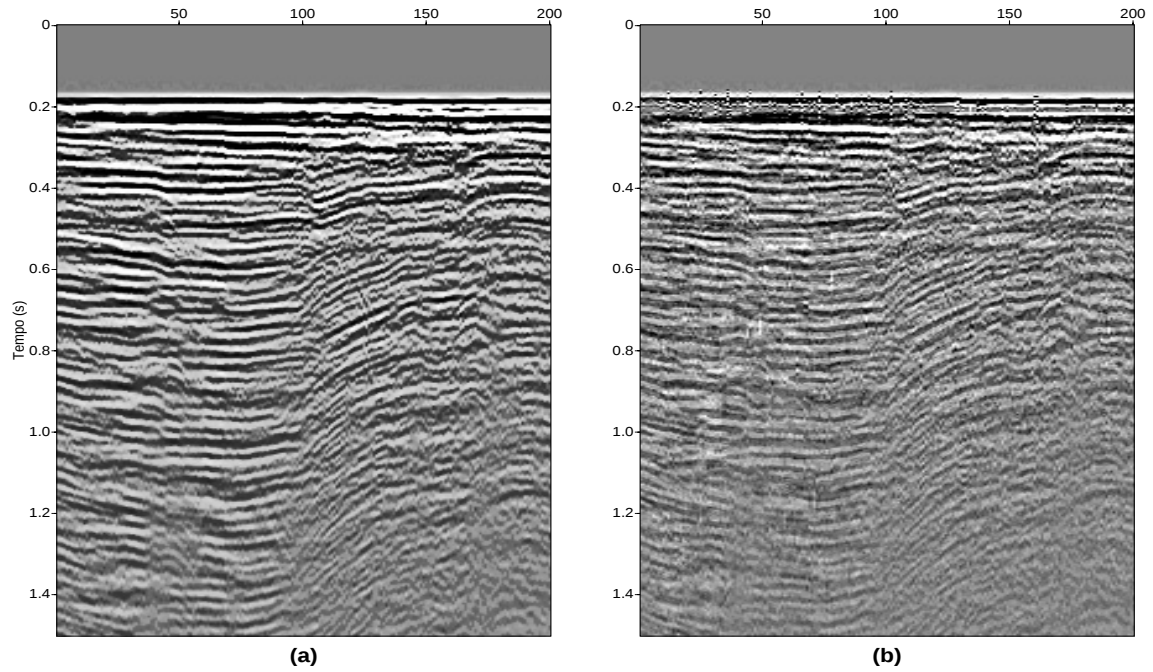


Figura 3.5: Painel de afastamento 250 até 1,5s (a) área ampliada do dado original e (b) área ampliada do dado após a deconvolução de Morf.

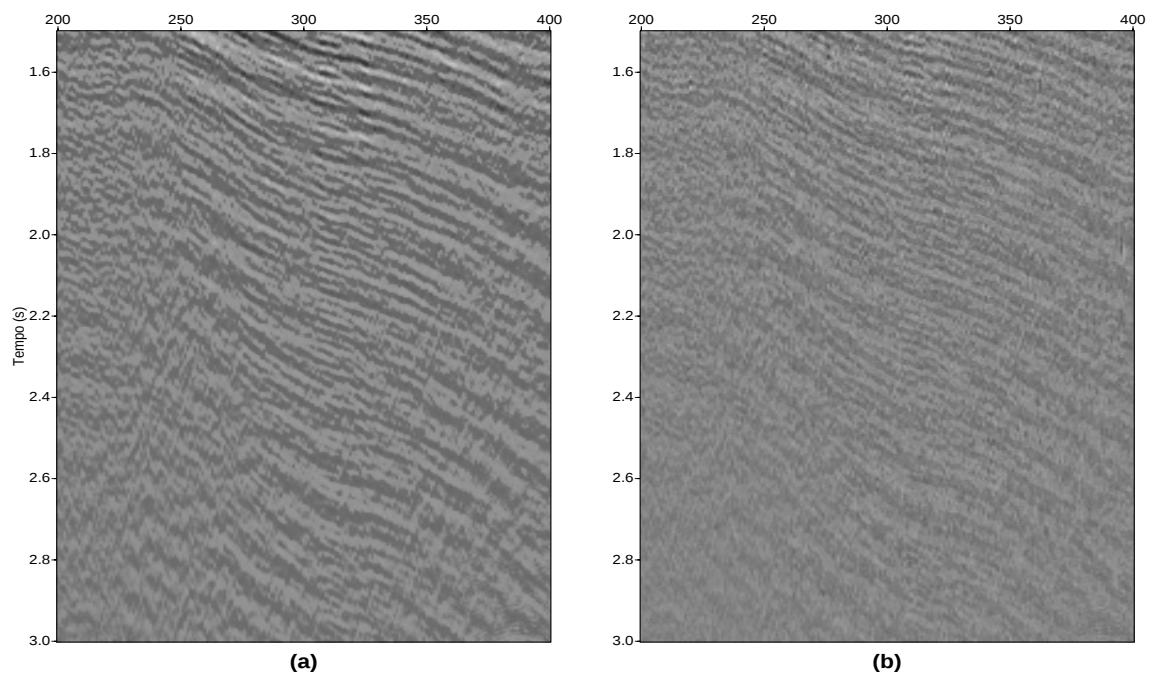


Figura 3.6: Painel de afastamento 250 de 1,5s até 3.0s (a) área ampliada do dado original e (b) área ampliada do dado após a deconvolução de Morf.

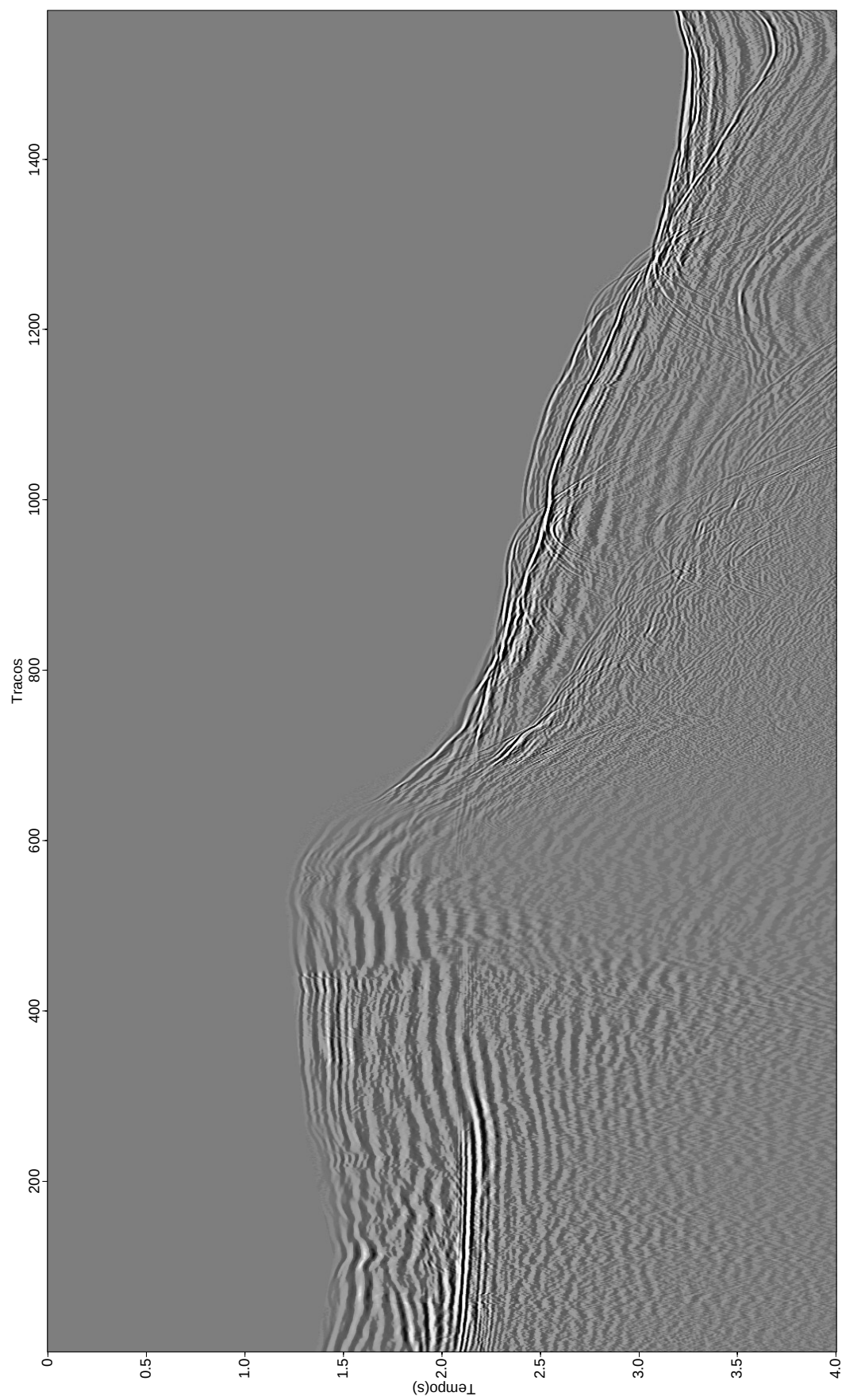


Figura 3.7: Painel de AC máximo original.

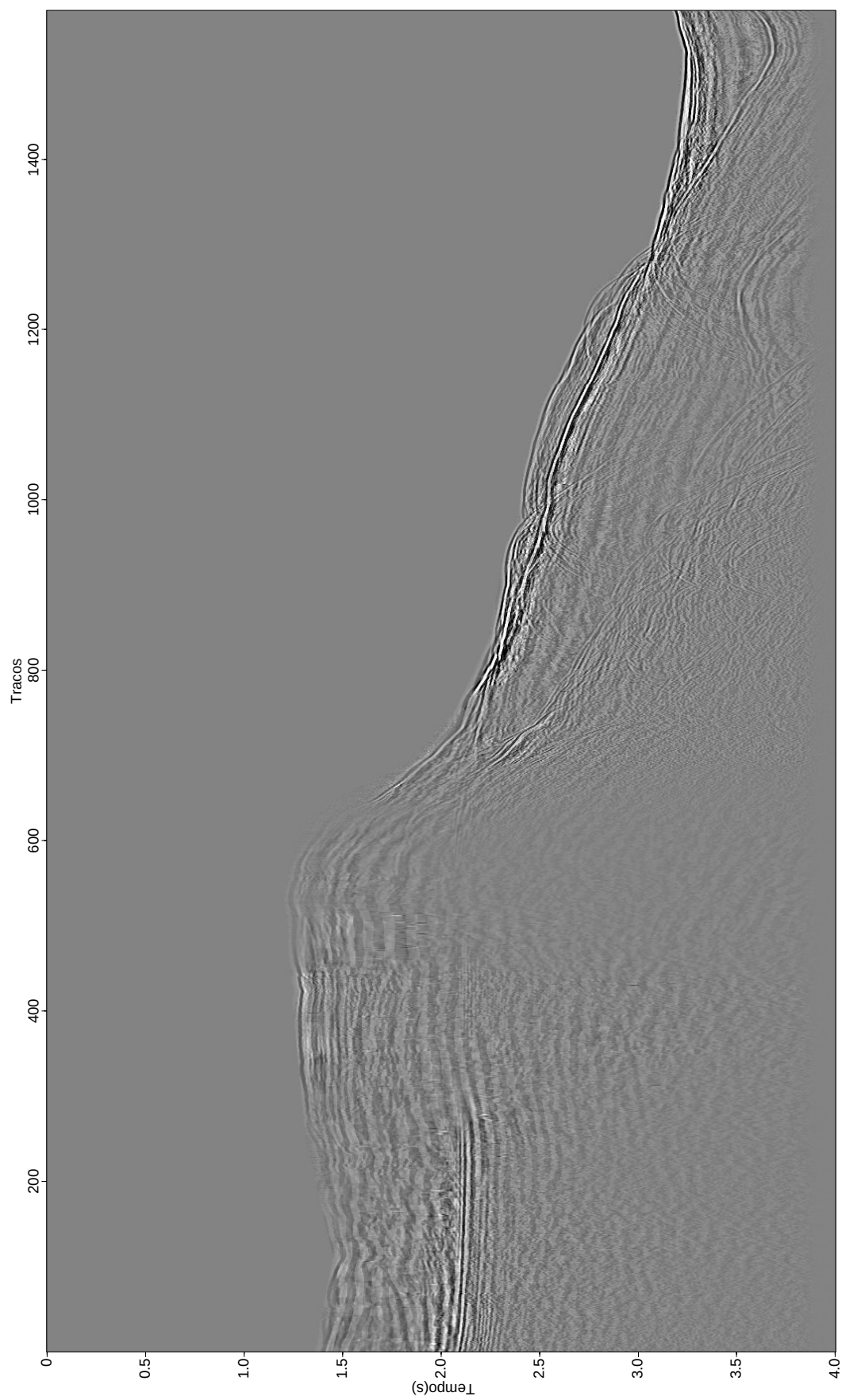


Figura 3.8: Painel de afastamento máximo após a deconvolução utilizando os parâmetros: $n = 25$ e $J_m = 2, 2n$.

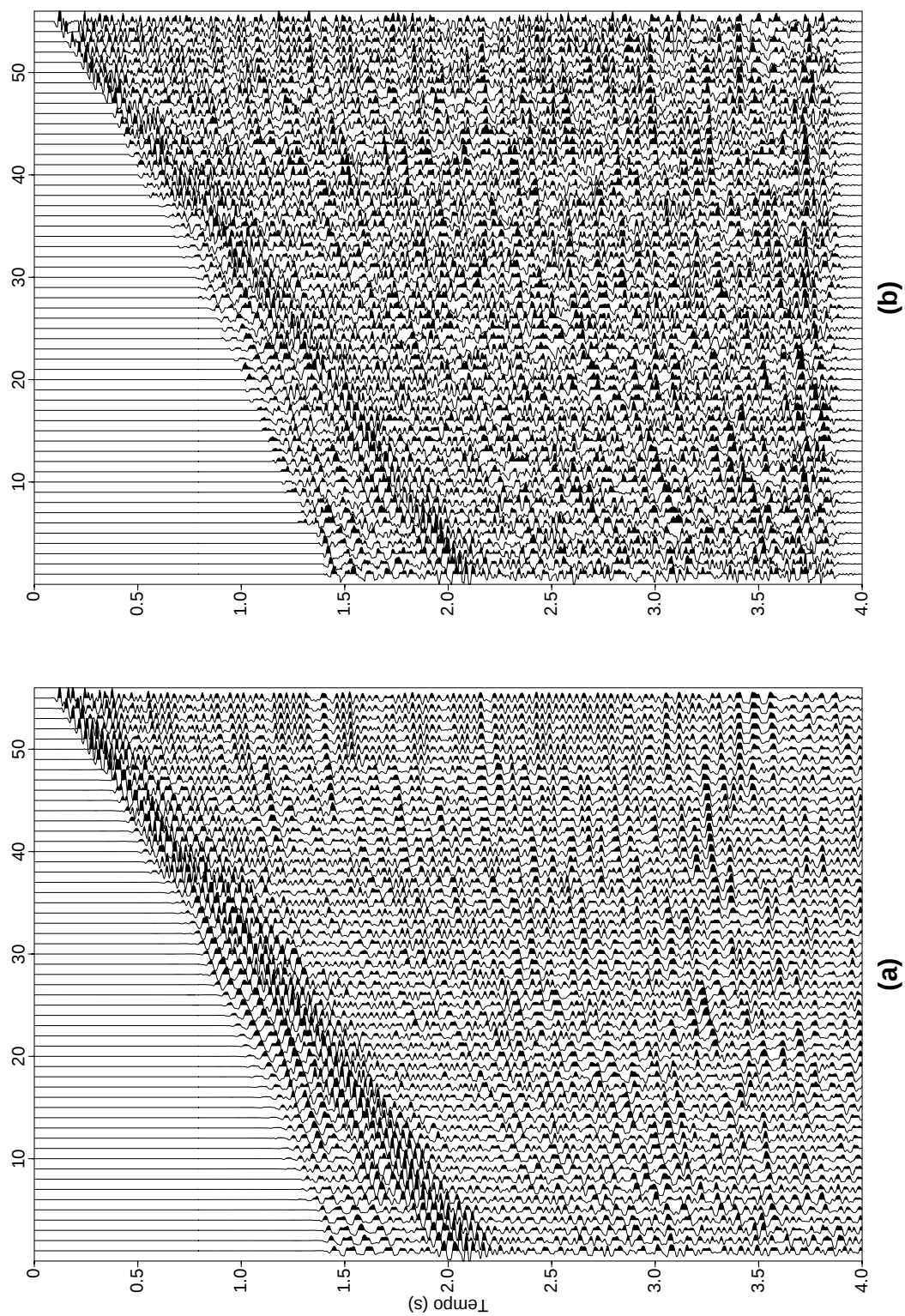


Figura 3.9: CDP 298 (a) original e (b) após a deconvolução adaptativa de Morf com janelas deslizantes.

CAPÍTULO 4

Etapas Finais do processamento

As últimas etapas do processamento foram realizadas com a utilização do *software* Focus versão 5.3. O fluxograma que mostra todas as etapas do processamento está representado na Seção 4.1.

Antes de aplicarmos os métodos de deconvolução estudados, foi feita uma análise de velocidade preliminar, com o intuito de obter uma seção sísmica empilhada para compararmos com as seções finais obtidas após a aplicação dos métodos de deconvolução. A Figura 4.1 mostra o fluxograma utilizado para a obtenção da seção sísmica empilhada preliminar.

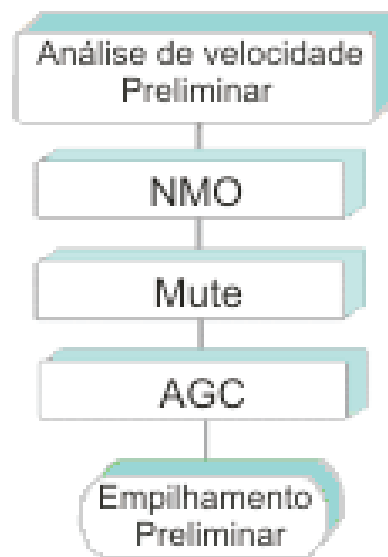


Figura 4.1: Fluxograma do processamento usado na obtenção da seção sísmica empilhada preliminar, antes da atenuação das múltiplas.

A análise de velocidade tem o objetivo de definir as velocidades que melhor horizontalizem as hipérboles referentes as reflexões e que melhor representem as velocidades das camadas em subsuperfície. A análise de velocidade preliminar foi feita com um intervalo de

100 CDP's e começou no CDP 298 até o CDP 3198, resultando em 29 análises. Nesta análise foi possível observar uma forte contaminação das múltiplas de curto período no espectro de velocidade (Figura 4.2), uma vez que ainda não havia sido realizada nenhuma atenuação dessas múltiplas.

Após a análise de velocidade, foi feita uma correção de NMO com as velocidades definidas na análise de velocidade preliminar. Devido ao estiramento causado pelo NMO foi necessário fazer um *mute* manual, novamente, usando um intervalo de 50 CDP's. Após o *mute* aplicamos um controle de ganho automático (AGC) e finalmente empilhamos o dado.

No empilhamento é feita a média aritmética das amostras num determinado tempo de um mesmo CDP após a correção de NMO com o objetivo de melhorar a razão sinal-ruído. Quanto melhor for a análise de velocidade melhor será o resultado do empilhamento destes dados. A seção sísmica empilhada preliminar é mostrada na Figura 4.3.

A aplicação das deconvoluções ocasionou um aumento no conteúdo de alta frequência, devido a isso, foi necessário fazer a filtragem de frequência com o uso do filtro trapezoidal passa-banda (PB). A Figura 4.4 mostra o resultado da filtragem PB no CMP 298 após a deconvolução preditiva de WL, observa-se que há diminuição do conteúdo de alta frequência e que alguns eventos estão mais definidos. A deconvolução adaptativa de Morf aumentou demais o conteúdo de alta frequência, porém após a filtragem alguns eventos ficaram mais definidos (Figura 4.5). As frequências utilizadas nestas filtrações foram: 5, 10, 55, 75 Hz.

Após a filtragem PB realizamos a análise de velocidade final. Esta análise foi feita com os dados obtidos com a deconvolução adaptativa de Morf, uma vez que observamos bons resultados desta deconvolução no domínio do AC. Observa-se que o espectro de velocidade não apresenta mais uma enorme contaminação causada pelas múltiplas de curto período (Figura 4.6). A análise foi feita na região de lâmina d'água mais rasa usando um intervalo de 50 CDP's, assim do CDP 298 até o CDP 1298 foram feitas 20 análises e na região da quebra do talude foi mantido o intervalo de 100 CDP's resultando em mais 19 análises.

Aplicamos a correção de NMO no dado obtido após a deconvolução preditiva de WL utilizando as velocidades determinadas na análise de velocidade final, aplicamos o *mute* manual também com intervalo de 50 CDP's, em seguida, aplicamos o AGC e finalmente empilhamos. Estas mesmas etapas foram feitas com os dados obtidos após a deconvolução adaptativa de Morf.

A Figura 4.7 é a seção empilhada utilizando a deconvolução preditiva de WL em janelas de tempo fixas. Nota-se que há grande atenuação das múltiplas de curto período.

A Figura 4.8 é a seção sísmica empilhada utilizando a deconvolução adaptativa de Morf com janelas deslizantes. Observa-se que o resultado foi melhor do aquele obtido com a deconvolução preditiva de WL. Alguns eventos ficaram mais definidos e as múltiplas de

curto período foram bastante atenuadas, representando, assim, o melhor resultado.

As Figuras 4.9 e 4.10 mostram duas regiões ampliadas das seções empilhadas, em (a) apresentamos a seção empilhada após a deconvolução preditiva de WL e em (b) a seção empilhada após a deconvolução adaptativa de Morf. Nestas duas figuras destacamos duas regiões que ficaram bem evidentes a atuação dos dois métodos e nos certificamos que a deconvolução adaptativa de Morf mostrou melhores resultados.

A última etapa de processamento realizada foi a migração. O objetivo da migração é corrigir o mergulho dos refletores e colapsar as difrações existentes na seção em tempo. Aplicamos a migração pós empilhamento em tempo de Kirchhoff na seção sísmica empilhada obtida com os dados deconvolvidos com o método adaptativo de Morf, uma vez que este método apresentou melhores resultados. A migração em tempo considera que o meio é descrito por um campo de velocidade sem variações laterais. Portanto, o campo de velocidade é determinante para a obtenção de uma seção migrada de qualidade para ser usada na interpretação, pois uma seção migrada de qualidade ajuda no mapeamento das estruturas geológicas, na localização e identificação de possíveis trapas de hidrocarbonetos.

Os principais parâmetros que utilizamos para fazer a migração foram o campo de velocidade e o ângulo de migração. O resultado da migração está ilustrado na Figura 4.11. Observa-se que as regiões das falhas ficaram mais definidas e alguns refletores apresentaram melhores continuidades.

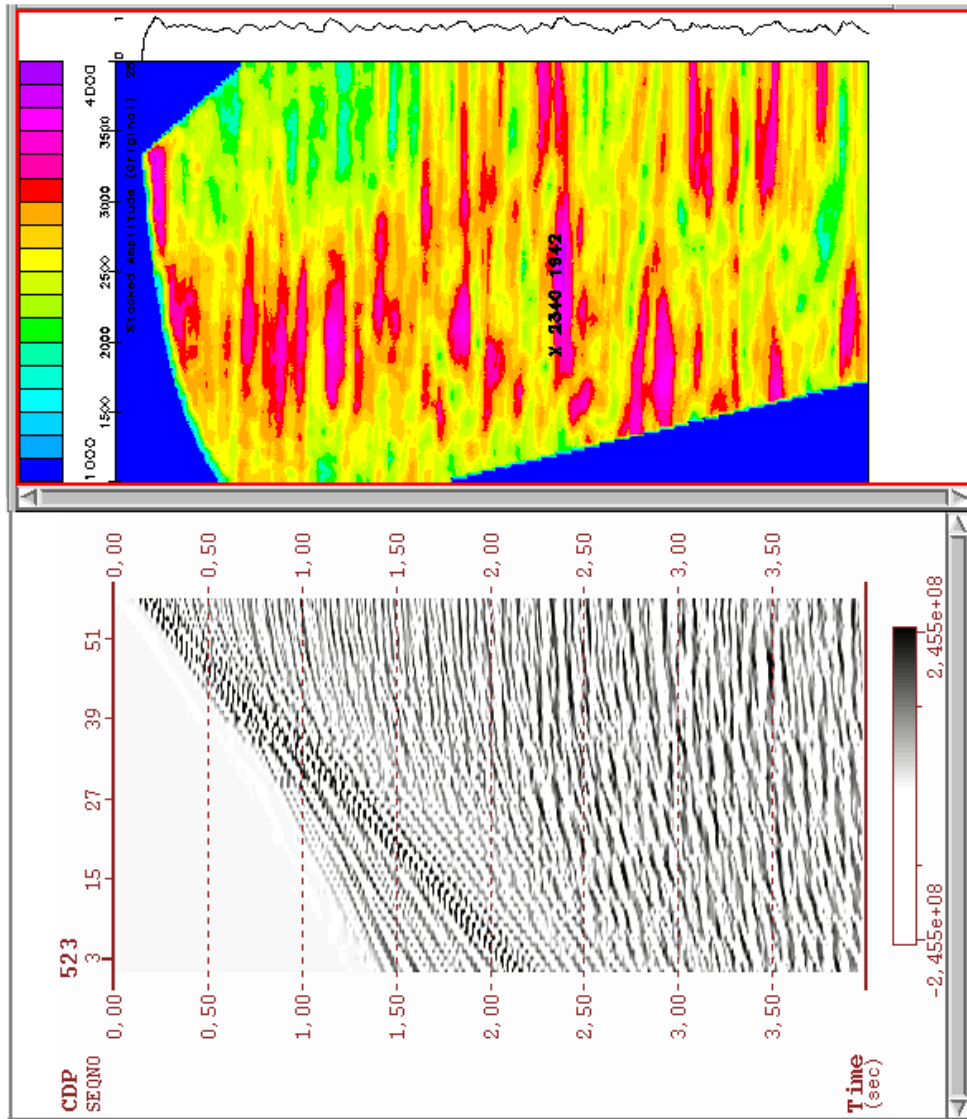


Figura 4.2: Espectro de velocidade preliminar.

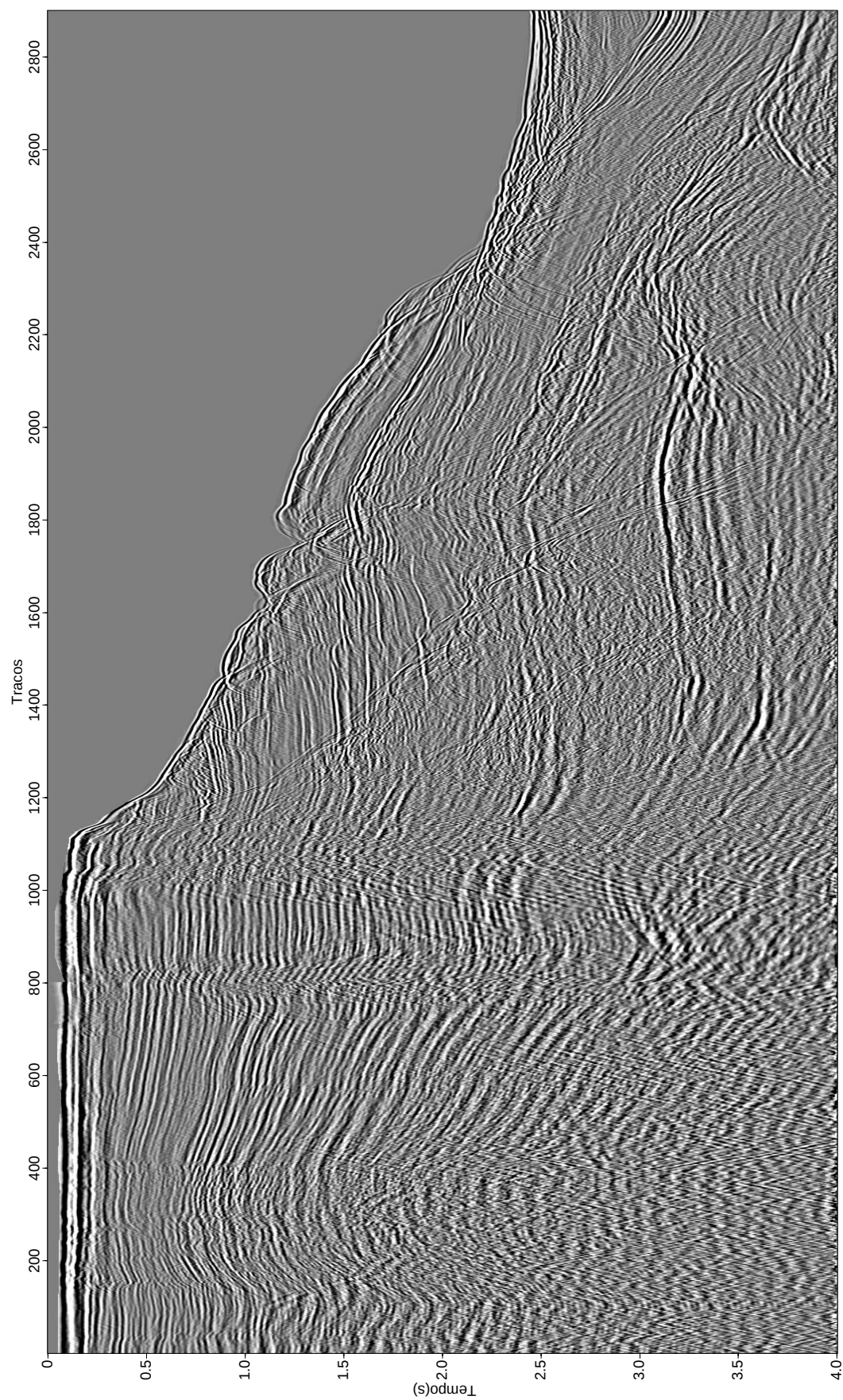


Figura 4.3: Seção empilhada preliminar.

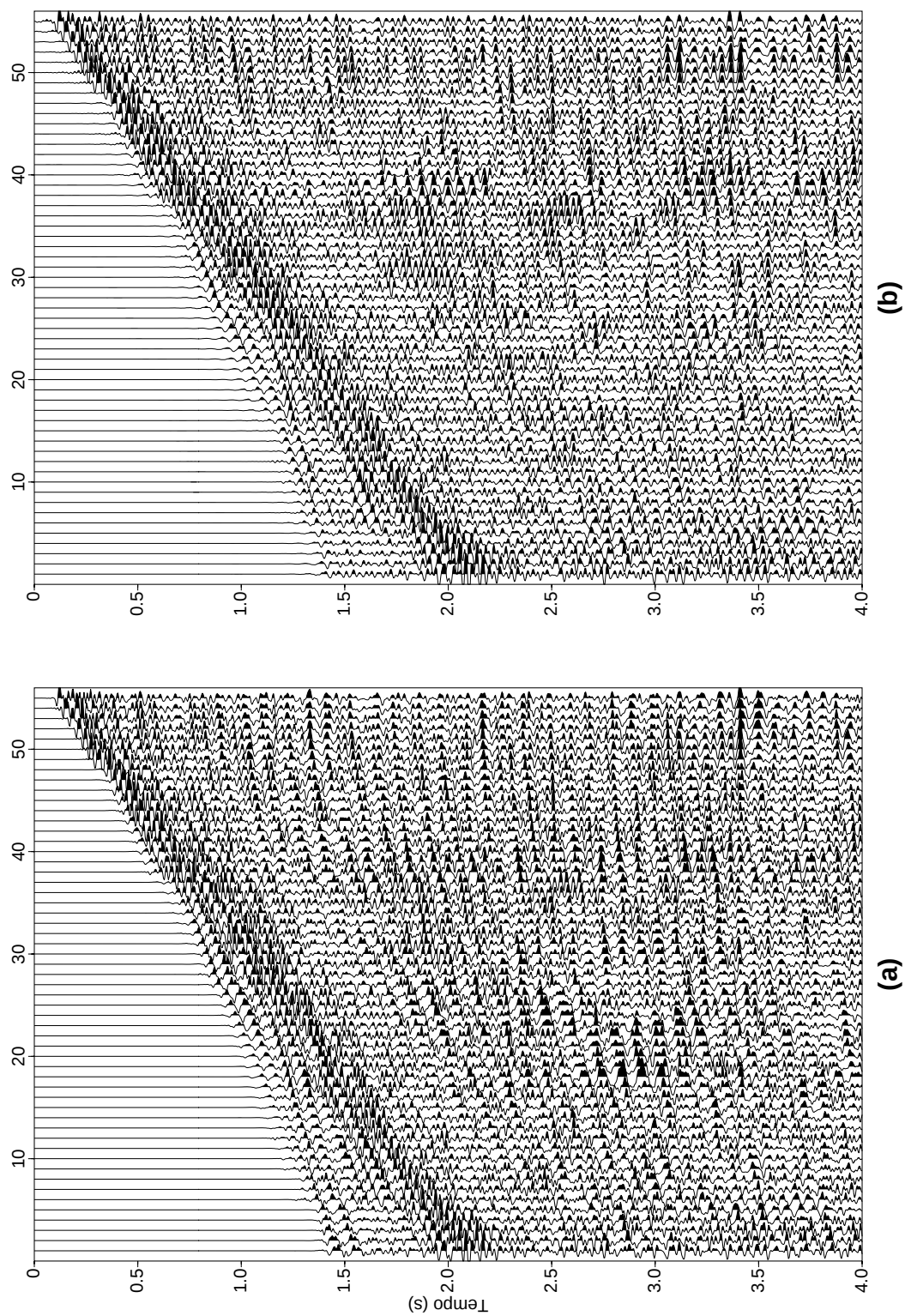


Figura 4.4: CDP 298 (a) após a deconvolução preditiva de WL com janelas de tempo fixas e (b) após o filtro PB.

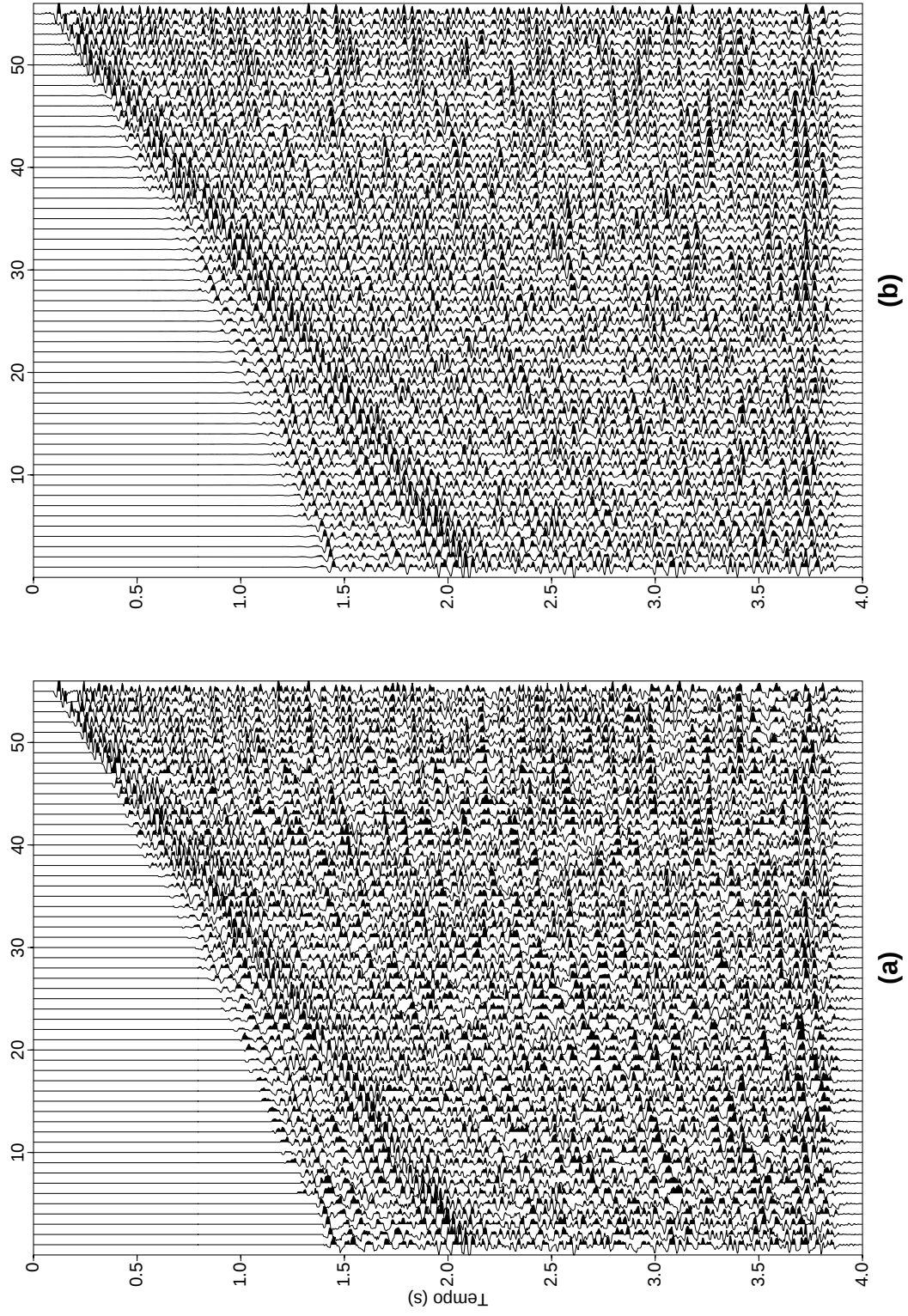


Figura 4.5: CDP 298 (a) após a deconvolução adaptativa de Morf com janelas deslizantes e (b) após o filtro PB.

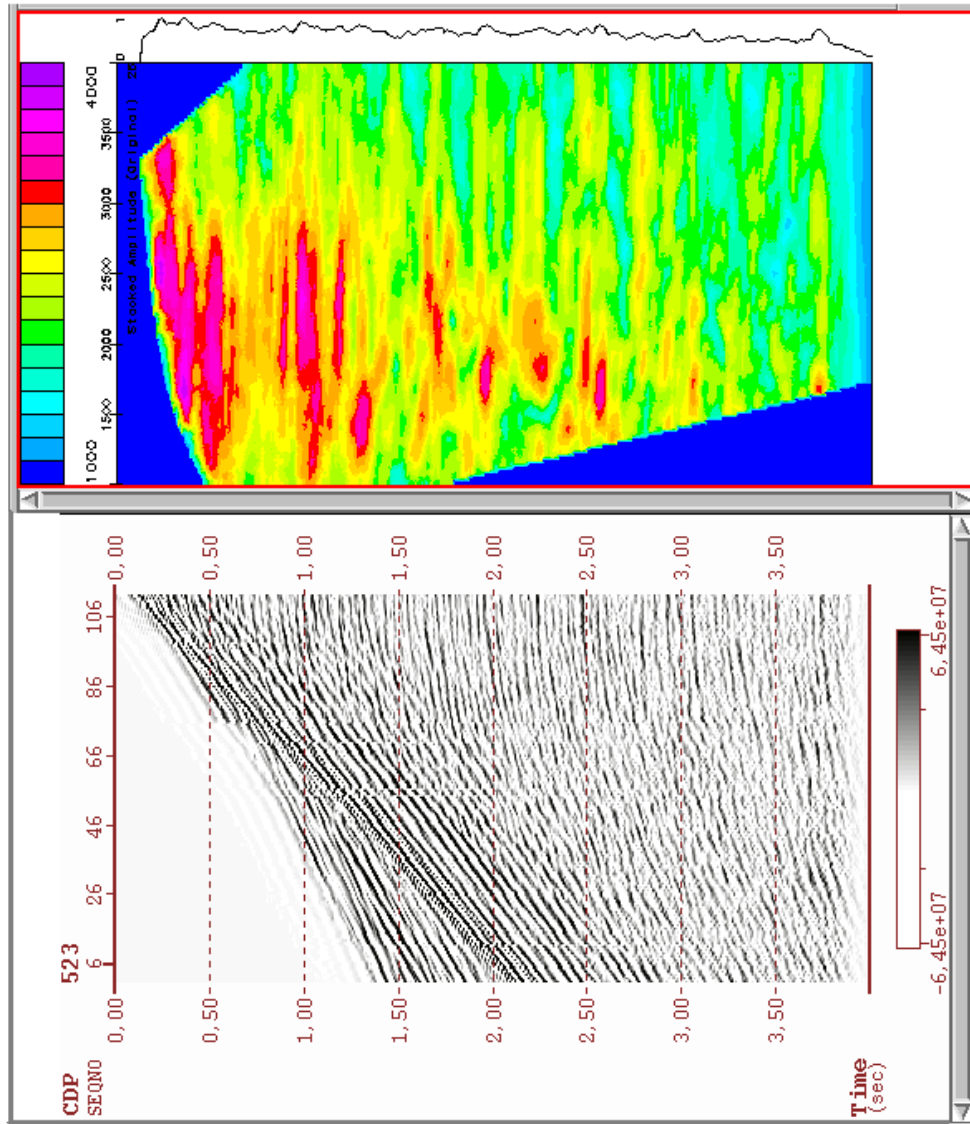


Figura 4.6: Análise de velocidade final.

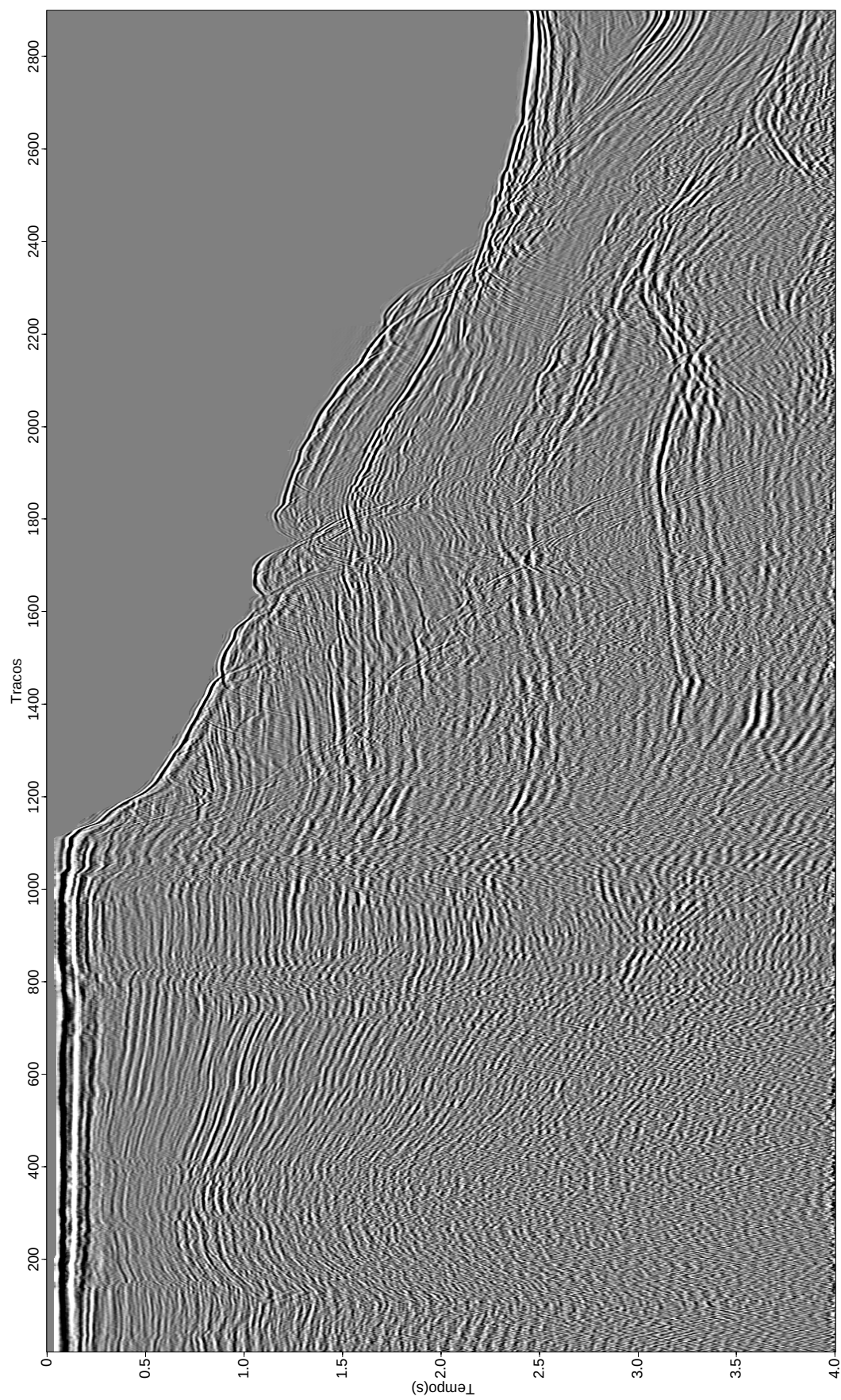


Figura 4.7: Seção empilhada após a deconvolução preditiva de WL com janelas fixas.

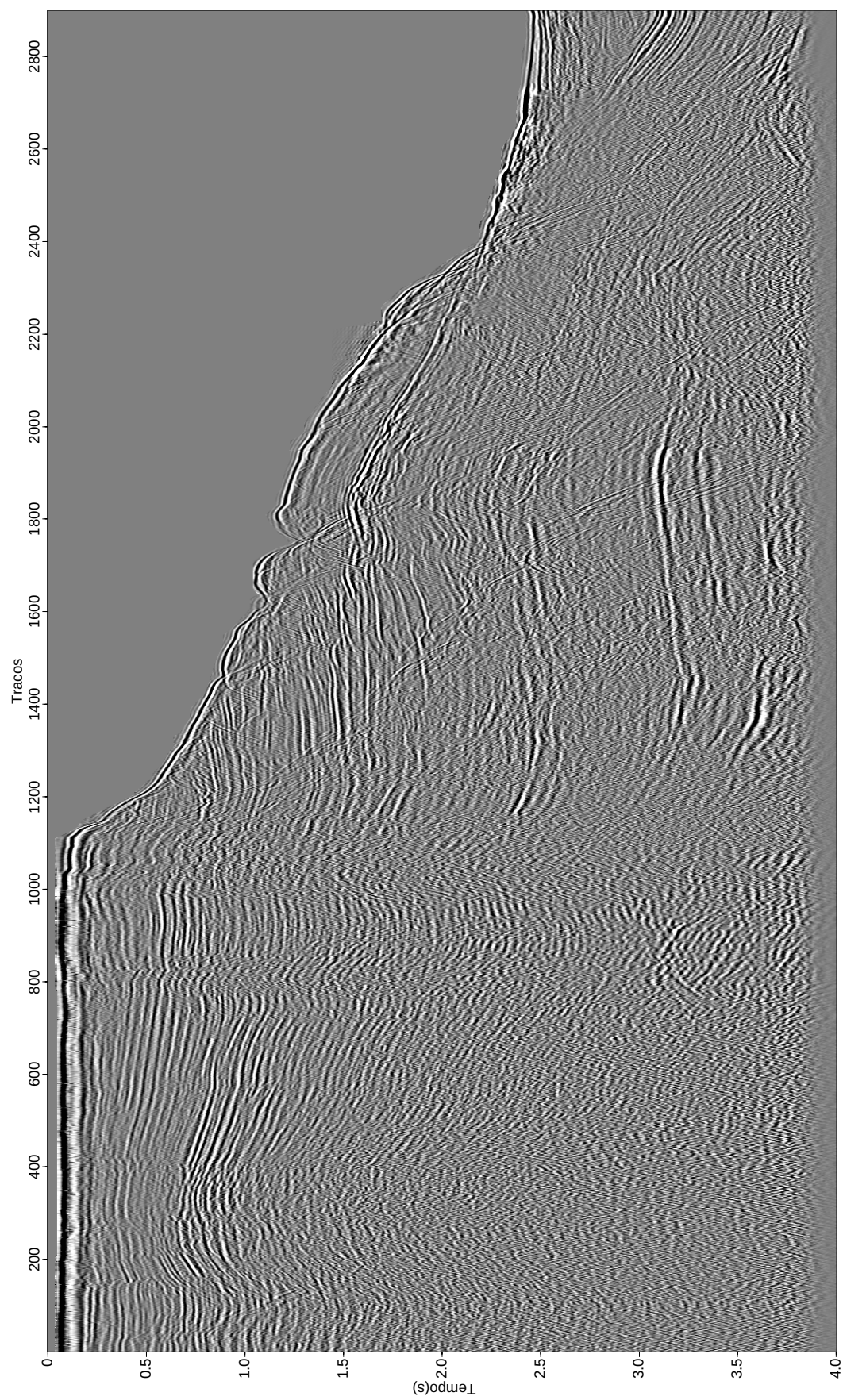


Figura 4.8: Seção empilhada após a deconvolução adaptativa de Morf.

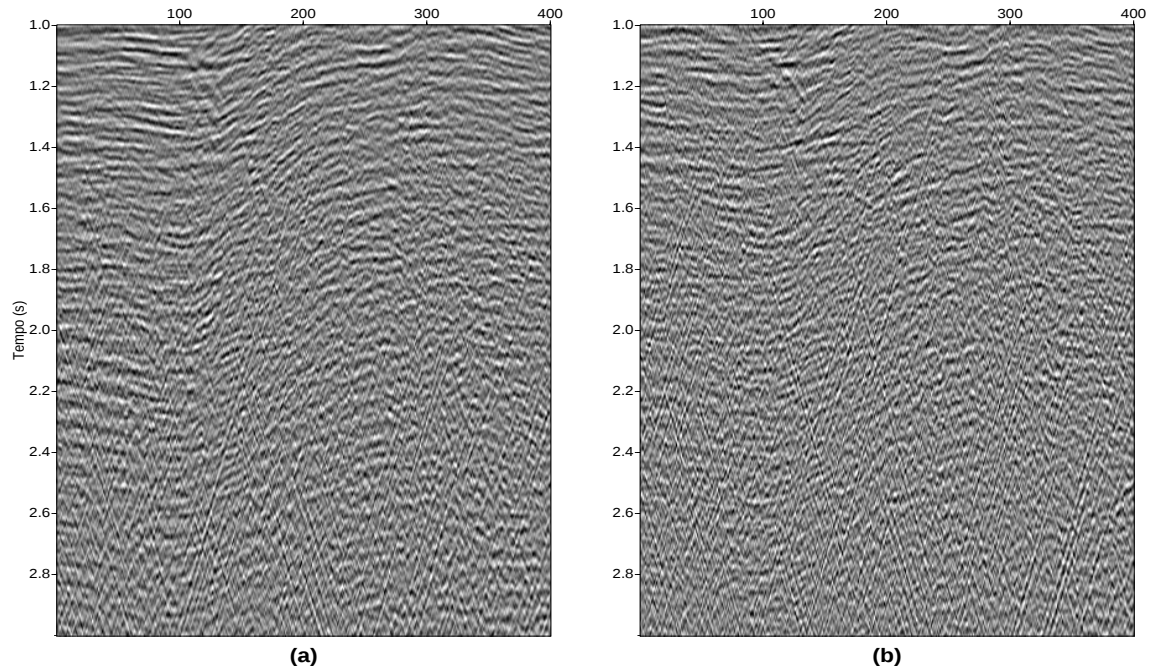


Figura 4.9: Área ampliada (a) da seção empilhada após a deconvolução preditiva de WL e (b) após a deconvolução adaptativa de Morf.

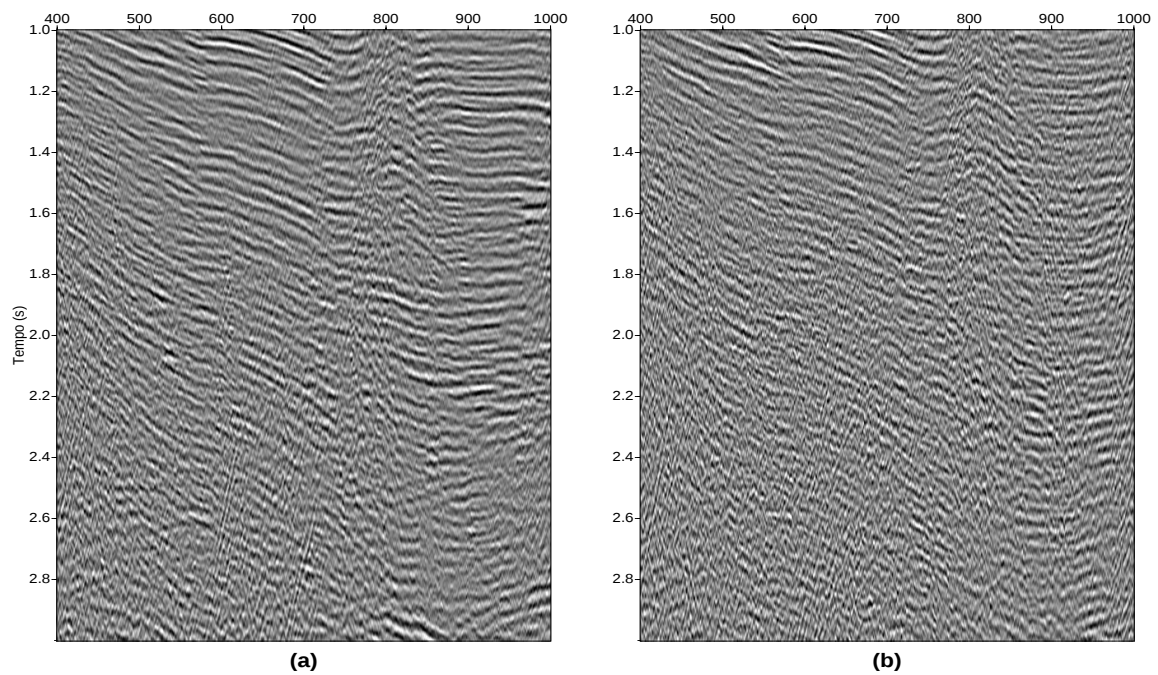


Figura 4.10: Comparação dos resultados em uma área ampliada (a) da seção empilhada após a deconvolução preditiva de WL e (b) após a deconvolução adaptativa de Morf.

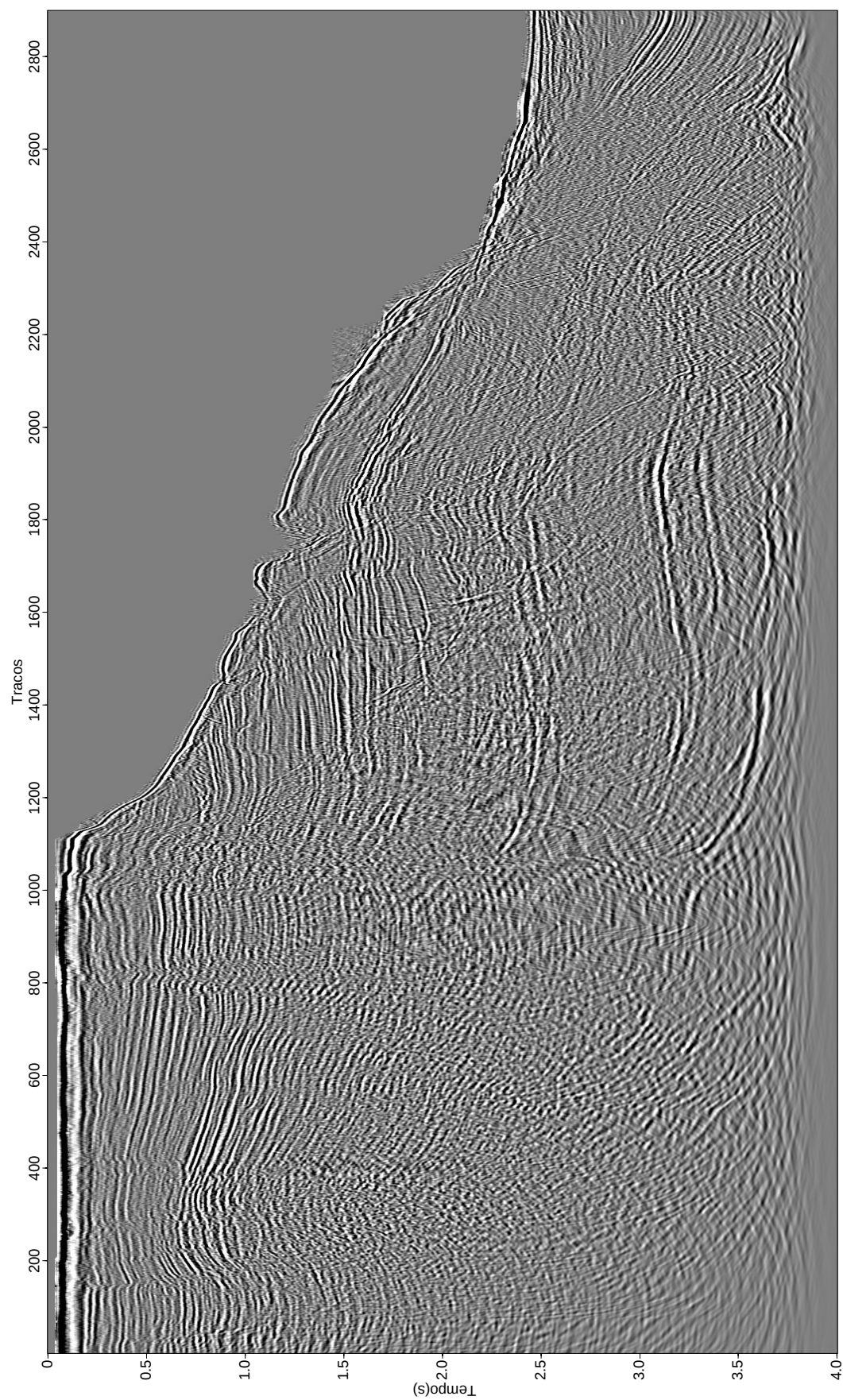


Figura 4.11: Seção migrada após a deconvolução adaptativa de Morf.

4.1 Fluxograma final

O fluxograma final com todas as etapas do processamento da linha sísmica 214-0266 da Bacia de Jequitinhonha está mostrado na figura a seguir:

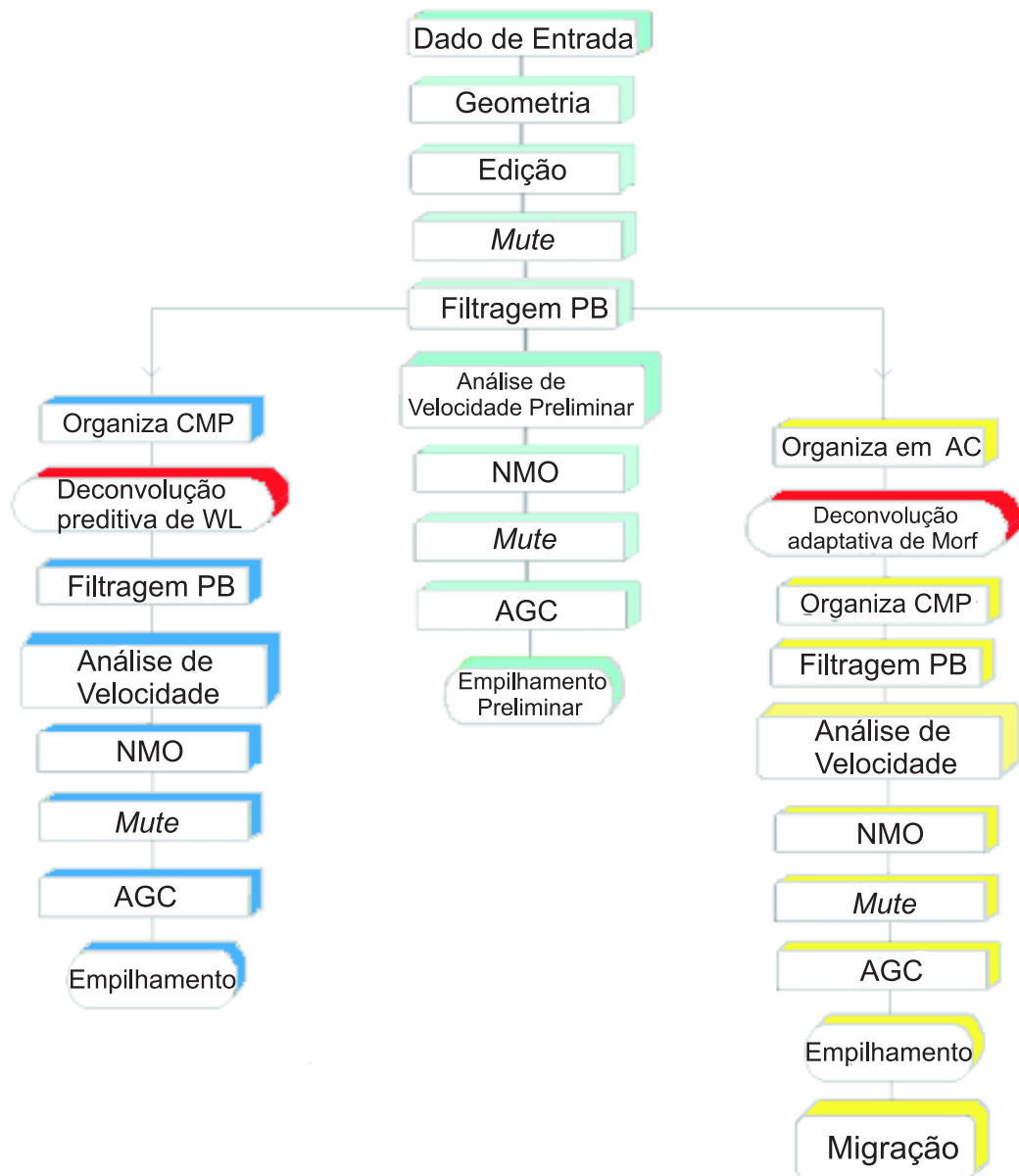


Figura 4.12: Fluxograma final do processamento adotado neste trabalho.

CAPÍTULO 5

Conclusões

As deconvoluções preditivas adaptativas demonstraram ser uma boa alternativa para a atenuação de múltiplas de curto período.

A deconvolução de WL utilizando 4 janelas fixas apresentou bons resultados porém exige que o início e fim de cada janela sejam cuidadosamente definidos.

A escolha do número de coeficientes do filtro e do comprimento da janela móvel que são utilizados na deconvolução adaptativa de Morf influenciam na qualidade dos resultados obtidos. Observamos que quanto menor o tamanho do filtro e da janela menos efetivo é o algoritmo. Os melhores resultados obtidos foram para n igual a 25 amostras e J_m igual a 55 amostras e distância de predição igual a 5 amostras.

Os procedimentos de processamento adotados que foram demonstrados no fluxograma final mostraram que foram efetivos na retirada das múltiplas de curto período da linha sísmica 214-0266 da Bacia de Jequitinhonha, sendo que, o método de Morf apresentou melhores resultados conforme mostramos na seção sísmica empilhada. Este resultado permitiu a geração de uma seção migrada com boa qualidade que é muito importante para a interpretação sísmica.

Diante dos bons resultados obtidos na atenuação de múltiplas de curto período, concluímos que a deconvolução adaptativa é uma ferramenta que pode ser mais explorada no processamento sísmico, podendo ser de grande valor para a indústria do petróleo. Uma recomendação para trabalhos futuros é desenvolver e testar a deconvolução adaptativa de Morf na forma multicanal.

Agradecimentos

- a Deus, que tem me dado forças para continuar nesta caminhada apesar das dificuldades;
- aos meus pais por terem apoiado as minhas opiniões e me ajudado para que cada uma delas desse certo;
- ao Dr. Milton Porsani, por sua orientação sempre dedicada, compreensão, incentivo e pela confiança depositada em mim;
- aos amigos Rosangela Maciel e Michelângelo, pela amizade, estímulo e orientação na realização do trabalho;
- aos meus irmãos: Sérgio, Márcio, Ricardo e Luciano, pelo apoio nos momentos bons e difíceis que passamos juntos;
- ao meu amor, Amisadai Linhares, pelo incentivo, compreensão, paciência, dedicação. Sempre me dando carinho e apoio nas mudanças que ocorreram na minha vida desde o primeiro momento que nos conhecemos.
- aos professores pelos ensinamentos e em especial à professora Jacira, pela amizade, incentivo e dicas preciosas;
- à família Tavares do Amaral, pelo incentivo, pela boa convivência e por terem me aceitado em seu lar como membro da família;
- aos amigos pelo companheirismo e convivência agradável durante todo o curso;
- aos amigos do Lagep que sempre me ajudaram;
- aos funcionários do CPGG/UFBa, Ana D'o e Joaquim Lago por proporcionarem boas condições de trabalho;
- ao Lagep e CPGG/UFBa pela boa infra-estrutura tecnológica oferecida;
- a *Paradigm Geophysical* pelo acesso ao *software* de processamento sísmico - Focus;
- ao PIBIC pelas bolsas de iniciação científica;

APÊNDICE A

Recursão de Levinson monocanal de predição arbitrária $L > 1$

A recursão de Levinson resolve o sistema de equações normais de forma eficiente. A recursão tem início com a obtenção de duas soluções independentes de ordem 1,

$$(r_L \quad r_0 \quad r_1) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ a_{1,1} & b_{1,1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = (0 \quad 0), \quad (\text{A.1})$$

sendo que,

$$a_{1,1} = -\frac{r_L}{r_0} \quad e \quad (\text{A.2})$$

$$b_{1,1} = -\frac{r_1}{r_0}. \quad (\text{A.3})$$

Combinando linearmente a_{11} e b_{11} através do relacionamento de Levinson obtém-se o primeiro filtro de dois elementos,

$$\begin{pmatrix} 1 \\ a_{2,1} \\ a_{2,2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ a_{1,1} \\ 0 \end{pmatrix} + \alpha_2 \begin{pmatrix} 0 \\ b_{1,1} \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (\text{A.4})$$

Para escrever as ENs associadas ao vetor de dois coeficientes utiliza-se a relação de Levinson,

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_L & r_{L+1} \\ r_L & r_0 & r_1 \\ r_{L+1} & r_1 & r_0 \end{bmatrix} \left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ a_{1,1} \\ 0 \end{pmatrix} + \alpha_2 \begin{pmatrix} 0 \\ b_{1,1} \\ 1 \end{pmatrix} \right\} = \begin{pmatrix} E_{a,2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (\text{A.5})$$

Consideramos que $(1 \quad a_{11} \quad 0)^T$ e $(0 \quad b_{11} \quad 1)^T$ satisfazem a equação (A.1) no cálculo do valor apropriado para α ,

$$\begin{bmatrix} (r_0 \quad r_L) \begin{pmatrix} 1 \\ a_{1,1} \end{pmatrix} & (r_L \quad r_{L+1}) \begin{pmatrix} b_{1,1} \\ 1 \end{pmatrix} \\ (r_{L+1} \quad r_1) \begin{pmatrix} 1 \\ a_{1,1} \end{pmatrix} & (r_1 \quad r_0) \begin{pmatrix} b_{1,1} \\ 1 \end{pmatrix} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{a,2} \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (\text{A.6})$$

Sendo,

$$E_{a,1} = \begin{pmatrix} r_0 & r_L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a_{1,1} \end{pmatrix}, e \quad (\text{A.7})$$

$$\Delta_{a,1} = \begin{pmatrix} r_{L+1} & r_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a_{1,1} \end{pmatrix}, \quad (\text{A.8})$$

escreve-se a forma compacta a seguir,

$$\begin{bmatrix} E_{a,1} & \hat{\Delta}_{a,1} \\ \Delta_{a,1} & E_{b,1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a_{2,2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{a,2} \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (\text{A.9})$$

Considerando a simetria da matriz de coeficientes representada em (A.5), vê-se que $\Delta a_1 = \hat{\Delta} a_1$. Dessa forma, a partir de (A.9) podemos obter o valor de α_2 conforme expressão,

$$\alpha_2 = - \frac{\begin{pmatrix} r_L & r_{L+1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} \\ 1 \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} r_1 & r_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} \\ 1 \end{pmatrix}} = - \frac{\hat{\Delta}_{a,1}}{E_{b,1}} = a_{2,2}. \quad (\text{A.10})$$

O filtro preditivo de 2 coeficientes é determinado ao continuar com a aplicação da recursão, uma vez que $a_{1,1}$, $b_{1,1}$ e α_2 são conhecidos, e substituindo-os na equação (A.4) obtêm-se o filtro de três coeficientes,

$$\begin{bmatrix} r_L & r_0 & r_1 & r_2 \\ r_{L+1} & r_1 & r_0 & r_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ a_{2,1} & b_{2,2} \\ a_{2,2} & b_{2,1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (\text{A.11})$$

no sistema de equações (A.11) $b_{2,1}$ e $b_{2,2}$ são desconhecidos, após calculados, serão utilizados no relacionamento de Levinson para obter filtro de três coeficientes,

$$\begin{pmatrix} 1 \\ a_{3,1} \\ a_{3,2} \\ a_{3,3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ a_{2,1} \\ a_{2,2} \\ 0 \end{pmatrix} + \alpha_3 \begin{pmatrix} 0 \\ b_{2,2} \\ b_{2,1} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (\text{A.12})$$

agora, apenas o valor de $\alpha_3 = a_{3,3}$ é desconhecido, o qual pode ser obtido da mesma forma que $\alpha_2 = a_{2,2}$ foi encontrado. Sendo que, $b_{2,1}$ e $b_{2,2}$ são os coeficientes do filtro de predição unitária e também são obtidos através da Recursão de Levinson (Porsani e Ursin, 2007).

A expressão (A.9) pode ser reescrita de forma generalizada,

$$\begin{bmatrix} E_{a,j-1} & \hat{\Delta}_{a,j-1} \\ \Delta_{a,j-1} & E_{b,j-1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a_{j,j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{a,j} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (\text{A.13})$$

onde,

$$\Delta_{h,j-1} = \begin{bmatrix} r_{L+j-1} & r_{j-1} & \cdots & r_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_{j-1,1} \\ \vdots \\ a_{j-1,j-1} \end{bmatrix}. \quad (\text{A.14})$$

Sendo possível adotar este procedimento repetidas vezes até a obtenção de um filtro de n coeficientes.

Referências Bibliográficas

- Bezerra, A. C. (2001) Deconvolução preditiva multicanal utilizando interpolação de traços sísmicos e transformada τ -p, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Claerbout, J. (1976) Fundamentals of geophysical data processing, McGraw Hill.
- Clarke, G. K. C. (1968) Time-varying deconvolution filters, *Geophysics*, **33**.
- Gama, E. D. P. (2001) Método bidimensional de atenuação de múltiplas de superfície no domínio das ondas planas através de um filtro modelador, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Griffiths, L. J.; Smolker, F. R. e Trembley, L. D. (1977) Adaptive deconvolution: A new technique for processing time varying seismic data, *Geophysics*, **42**.
- Lima, A. P. (1999) Deconvolução de reflexões múltiplas nos domínios τ -x e τ -p com filtros multicanais, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Maciel, R. M. (2007) Deconvolução preditiva multicanal de reflexões múltiplas no domínio CRS, Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Montenegro, J. F. B. (1996) Deconvolução adaptativa da assinatura da fonte utilizando janelas de tempo deslizantes, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Morf, M. D.; B.; Kailath, T. e Vieira, A. (1977) Recursive solution of covariance equations for linear prediction, **25**.
- Peacock, K. L. e Treitel, S. (1969) Predictive deconvolution: Teory e practice, *Geophysics*, **34**.
- Pontes, C. E. S. (1985) Algumas técnicas de supressão de reflexões múltiplas e aplicação ao Alto de Macau, Bacia Potiguar, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Porsani, M. (1994) Um algoritmo adaptativo para a obtenção do operador preditivo de erro. (Não Publicado).
- Porsani, M. J. (1986) Desenvolvimento de algoritmo tipo Levinson para o processamento de dados sísmicos, Tese de doutorado, PPPG/UFBa, Salvador, Brasil. (Não Publicado).
- Porsani, M. J. e Ursin, B. (2007) Direct multichannel predictive deconvolution, *Geophysics*, **72**:H11–H27.

- Robinson, E. A. (1957) Predictive decomposition of seismic traces, *Geophysics*, **22**.
- Robinson, E. A. e Treitel, S. (1980) *Geophysical Signal Analysis*, Englewood Cliffs - Prentice Hall.
- Ryu, J. (1982) Decomposition (decon) approach applied to wave-field analysis with seismic reflection records, *Geophysics*, **47**.
- Santos, J. R. S. B. (2000) Atenuação e múltiplas do fundo do mar e migração pré-empilhamento no domínio das ondas planas, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Schneider, W.; Prince, E. e Giles, B. (1965) A new data-processing technique for multiple attenuation exploiting differential normal moveout, *Geophysics*, **30**.
- Treitel, S. e Lines, L. R. (1982) Linear inverse theory, *Geophysics*, **47**.
- Wang, R. J. (1969) The determination of optimum gate length for time-varying wiener filtering, *Geophysics*, **34**.
- Yilmaz, O. (1987) *Seismic Data Processing*, Society of Exploration Geophysicists.