

IV Simpósio de Geofísica

Deconvolução preditiva adaptativa para atenuação da reverberação do fundo marinho na Bacia do Jequitinhonha

Ricardo Felipe Chartuni Cabral da Cruz, PETROBRAS
Milton José Porsani, CPGG/UFBA

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

RESUMO

Reflexões múltiplas representam um grande problema enfrentado pela indústria de petróleo. Elas estão presentes nos dados sísmicos marinhos e prejudicam o sobremaneira o processamento e qualidade final da imagem sísmica. Dentre os conhecidos métodos para atenuação foi utilizado o que se baseia na sua periodicidade (Backus, 1959; Peacock and Treitel, 1969), com a aplicação dos filtros de Wiener-Levinson (WL) e algoritmo de Morf modificado (Porsani, 1992). A aplicação sobre dados da Bacia do Jequitinhonha apresentou bons resultados em todas as regiões da seção. As grandes dificuldades encontradas na atenuação na parte da plataforma e na quebra do talude foram bem resolvidos pelo método aplicado. Ressaltam-se os resultados obtidos com o algoritmo de Morf, que foram considerados muito bons, aparecendo como potencialmente promissor na atenuação de múltiplas em todas as regiões de um dado sísmico marítimo.

INTRODUÇÃO

A busca por aumento na qualidade e confiabilidade das seções sísmicas, independente de sua natureza (terrestre ou marinho), representa o objetivo maior do processamento de dados sísmicos. A demanda é sempre por uma imagem final mais efetiva e confiável, e que possua uma boa representatividade da geologia de sub-superfície.

A presença de reflexões múltiplas em dados sísmicos marinhos representa um grande problema ao processamento destes dados. Esses eventos são assim denominados porque ocorrem com certa periodicidade que está associada à reverberação da energia sísmica na lâmina d'água. Este eventos contaminam todo o dado adquirido, comprometendo a razão sinal/ruído e degenerando a qualidade do dado sísmico.

A deconvolução preditiva é normalmente utilizada para a supressão de múltiplas. Ela se baseia na periodicidade desses eventos, alcançada na prática pela correção de

MMO (*multiple moveout*), mas que é preservada apenas no caso de incidência normal, o que faz com que a deconvolução empregada não seja tão efetiva. Neste trabalho utilizou-se desse conceito para dividir o traço em janelas, sem a necessidade da correção. A periodicidade dos eventos foram garantidos com a atualização dos parâmetros para cada nova deconvolução dentro de janelas apropriadas (não tão grandes para entrada de ordens superiores da múltipla analisada nem curtas de modo a obter um sistema mal-condicionado).

Entre os processos de filtragem de múltiplas para a realização da deconvolução foi testado o filtro WL (Robinson and Treitel, 1980). Ele trabalha resolvendo-se sistemas Toeplitz de equações normais, geradas a partir da imposição de que o sinal de entrada possui zeros antes da primeira e depois da última amostra. Com o algoritmo desenvolvido por Porsani e Ursin (2007) atualizam-se os termos de erro diretamente, aplicando a deconvolução para a atenuação da múltipla diretamente sobre o traço sísmico, sem a aplicação nem o cálculo do filtro.

Outra deconvolução preditiva realizada utilizou a ideia de Morf, tipo-Levinson para o problema de predição linear ($L = 1$), que gera um sistema de equações que não impõe que o sinal de entrada possua zeros fora de sua janela (Morf et al., 1977). Neste caso a matriz das equações normais perde a estrutura Toeplitz. Porsani (1992) apresentou um algoritmo que estende o algoritmo de Morf para a predição L .

Quando se utiliza da recursão de Levinson sobre dados ajanelados, é feita a premissa de que os dados possuem valores de amplitude nula fora do intervalo sob consideração. Uma vez que não existe mais essa condição, que é o que mais se ajusta aos casos dos sismogramas, consegue-se um filtro que não é mais influenciado por qualquer premissa sobre o comportamento dos dados fora do intervalo considerado e que tende a ser mais eficaz na predição dos eventos.

METODOLOGIA/PROBLEMA INVESTIGADO

Um filtro preditivo parte da premissa de que os eventos a serem preditos e removidos têm uma periodicidade temporal no espaço. É a correção por MMO, correção de sobretempo que utiliza o valor da velocidade da múltipla, que garante sua periodicidade (Figura 1). Um filtro preditivo com os parâmetros corretos atuará na forma de atenuar estes eventos indesejados.

Esta correção causa perda de resolução com o estiramento, que influencia a deconvolução. Para não utilizar esta correção, este trabalho aplicou a deconvolução preditiva sobre o traço bruto dividido em janelas. Dentro de

DECONVOLUÇÃO PREDITIVA ADAPTATIVA PARA ATENUAÇÃO DA REVERBERAÇÃO DO FUNDO MARINHO NA BACIA DO JEQUITINHONHA

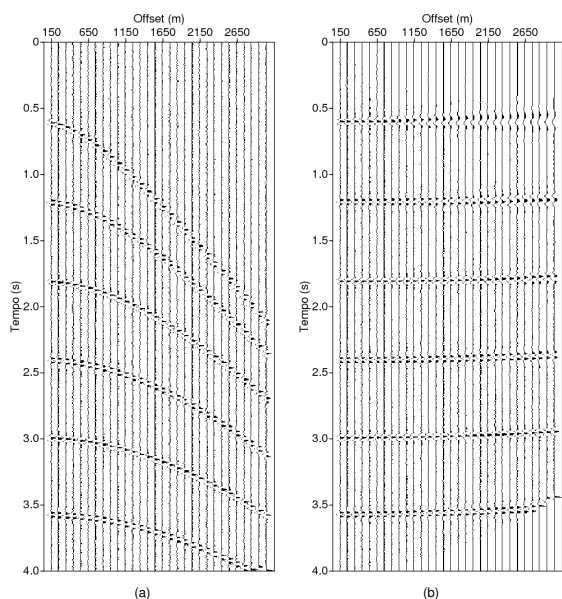


Figura 1: Família CDP (com múltiplas apenas) sem correção (a) e com correção de MMO (b).

cada uma dessas janelas, calculou-se um novo filtro preditivo com parâmetros diferentes dos anteriores, que estavam em função do período extrapolado dentro daquela janela (Figura 2).

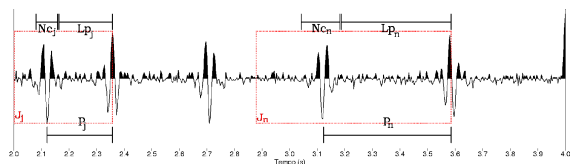


Figura 2: Atualização dos parâmetros para deconvolução preditiva dentro de um mesmo traço.

Os valores dos períodos que seriam utilizados em cada janela foram calculados com o conceito de CMP (Mayne, 1962). A partir dele, sabe-se que a equação de tempo de chegada das reflexões primárias do fundo do mar é dado por:

$$T_{prim} = \sqrt{\frac{X^2}{V^2} + t_0^2} \quad (1)$$

onde t_0 é o tempo de propagação da onda de incidência normal, X o afastamento fonte-receptor e V a velocidade de propagação da onda no meio.

Do mesmo modo, pode-se extrapolar o tempo de chegada para as múltiplas de ordem n como

$$T_{mult_n} = \sqrt{\frac{X^2}{V^2} + \{(n + 1)t_0\}^2} \quad (2)$$

Com as equações 1 e 2, dentro das limitações da técnica

DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS	PARÂMETROS UTILIZADOS
Lanço/ <i>Spread</i> (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 de amostras	1751
Tempo de registro total (s)	7.00
Afastamento mínimo (m)	150
Afastamento máximo (m)	3125

Tabela 1: Parâmetros da aquisição marítima da linha sísmica 214-0266.

do CMP, pode-se afirmar que com os tempos do fundo oceânico na seção *zero-offset*, consegue-se extrapolar as suas múltiplas. A partir do valor do t_0 foi possível prever o tempo de chegada de todos os eventos que se queria remover, atualizando os parâmetros para cálculo do filtro preditivo a cada janela de deconvolução.

RESULTADOS

O dado escolhido para aplicação desse método de deconvolução foi o de uma aquisição marítima na bacia do Jequitinhonha, linha 214-0266. Os parâmetros de aquisição podem ser visto na Tabela 1.

Este dado apresenta desde múltiplas de curto-período, na parte da plataforma continental da aquisição, até múltiplas de longo período, no talude, na parte mais profunda da seção.

A partir da leitura dos tempos do fundo oceânico da seção empilhada com velocidade de $1500m/s$, velocidade da propagação da onda compressional na água foram obtidos os valores do t_0 para cada família CMP analisada. Com as equações mostradas em 1 e 2 foram extrapolados todos os valores de entrada necessários para a deconvolução das múltiplas do fundo oceânico.

Esta aproximação baseada na técnica do CMP mostrou-se consistente mesmo na quebra do talude, onde se encontra a maior inclinação do fundo oceânico (Figura 3).

Na Figura 4 vê-se um exemplo de CMP na parte rasa, na plataforma. Uma informação da geologia a priori é fundamental uma análise mais completa. No entanto nota-se bem que a reverberação que contamina todo o registro do dado nos afastamentos curtos é atenuado pela deconvolução adaptativa Wiener-Levinson (DAWL) e muito mais ainda pela deconvolução adaptativa Morf modificado para predição L (DAMM) que é mais eficaz na predição e atenuação dos eventos. Uma outra melhoria se vê nos maiores afastamentos. O intervalo de chegada das múltiplas nestes é muito pequeno, conta-

DECONVOLUÇÃO PREDITIVA ADAPTATIVA PARA ATENUAÇÃO DA REVERBERAÇÃO DO FUNDO MARINHO NA BACIA DO JEQUITINHONHA

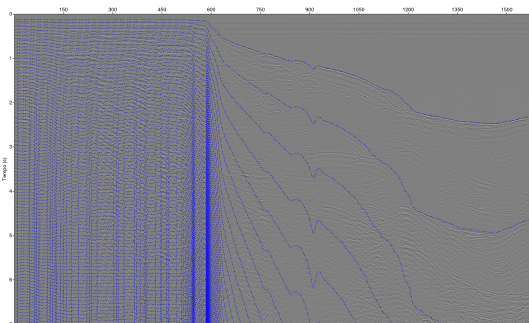


Figura 3: Extrapolação dos eventos a serem removidos na deconvolução.

minando bem mais o dado com altas amplitudes. Por volta de 2-4 segundos vê-se bem essa contaminação no dado bruto (Figura 4a). Nesta mesma posição a DAWL atua de modo a atenuá-la um pouco enquanto que na DAMM a seção fica muito mais livre desses eventos.

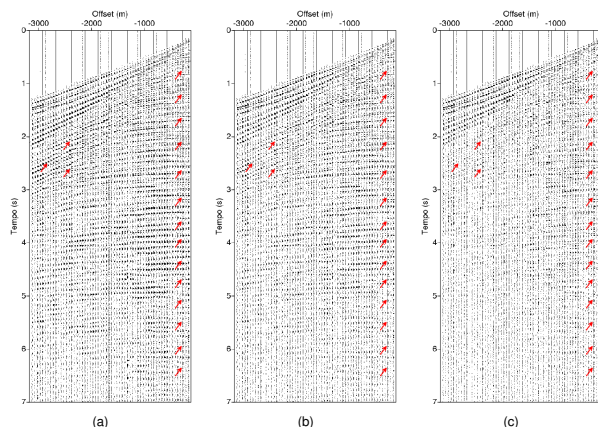


Figura 4: Comparação entre o dado de entrada (a) para a DAWL (b) e DAMM (c) na plataforma.

Na região mais profunda da seção, onde as múltiplas aparecem no registro em um tempo mais avançado (múltiplas de longo período), o problema da múltipla provoca maior agravamento às leituras das primeiras chegadas. Os eventos das primárias tendem a apresentar uma amplitude muito menor ainda em comparação com as múltiplas devido à grande atenuação de sua amplitude sofrida pela transformação/perda de energia à medida que maior for a trajetória da onda. Mas se observa que quando o processo de filtragem entra nesta região, tende a ressaltar eventos que antes não eram facilmente diferenciados nos sismogramas. O deterioramento da amplitude das múltiplas faz ressaltar a presença destes outros eventos, como se vê na Figura 5.

Todos estes resultados mostraram que o método proposto de extrapolação dos valores das múltiplas que se deseja atenuar pode ser aplicado de forma a obter uma resposta muito satisfatória. Através da aplicação da deconvolução preditiva no traço bruto sem nenhuma corre-

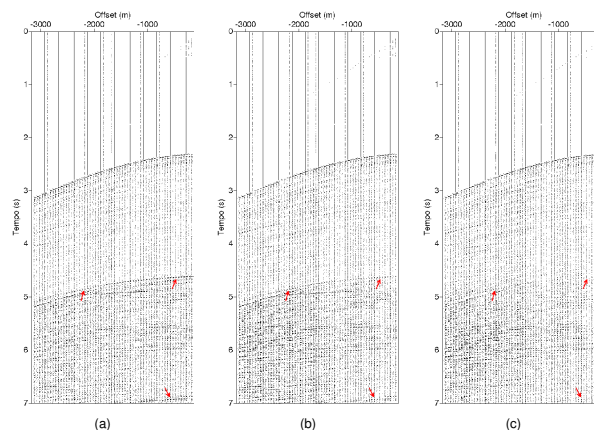


Figura 5: Comparação entre o dado de entrada (a) para a DAWL (b) e DAMM (c) no início da parte profunda da seção.

ção de MMO, a atualização dos parâmetros da deconvolução proporciona o bom trabalho do filtro na predição e atenuação desses eventos que não se encontram mais periódicos ao longo do traço.

Com os CMPs tendo uma melhor resolução das primárias em detrimento das múltiplas, espera-se que a seção empilhada apresente, da mesma forma, um melhor imageamento das primárias com a atenuação das múltiplas. E é o que se observa ao olhar as seções empilhadas bruta (Figura 6), deconvolvida pela DAWL (Figura 7) e pela DAMM (Figura 8).

A seção empilhada gerada a partir da DAMM melhorou consideravelmente o imageamento desta linha sísmica. Seu resultado apresentado pode ser considerado bastante promissor. Ele conseguiu suprimir as múltiplas dentro de todos os intervalos da seção: desde as múltiplas de curto período até as de maiores períodos, passando pela complicada área da quebra do talude na questão da atenuação das múltiplas e continuando com uma resposta muito satisfatória (detalhes vistos na Figura 9, Figura 10 e Figura 11).

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O emprego da técnica de extrapolação das múltiplas para sua atenuação, através do método da deconvolução preditiva, mostrou-se válido e satisfatório. Mesmo trabalhando sobre um dado sem correções de sobretempo, que é o processo utilizado para garantir a periodicidade das múltiplas, os resultados obtidos foram considerados muito bons.

Um fator a ser considerado é o tempo de processamento. Uma vez que os parâmetros mudam ao longo do traço sísmico, faz-se necessário o cálculo do novo filtro preditivo a cada nova amostra. No entanto, com a evolução dos processadores e possibilidades de paralelizações, a deconvolução pode ser realizada demandando muito menos tempo para a sua conclusão.

O algoritmo de Moer estendido para predição L (Porsani, 1992) mostrou-se eficiente computacionalmente, com custo computacional equivalente ao algoritmo de WL, entretanto mais eficaz na atenuação das múltiplas, quando comparado ao método clássico de WL.

A ideia do algoritmo de Morf, que, diferentemente do algoritmo de Wiener-Levinson, não considera amostras nulas fora da janela considerada, resulta em um operador calculado com as informações contidas apenas no interior das observações, o que faz não ser influenciado por qualquer premissa sobre o comportamento dos dados fora do intervalo considerado. Isto revelou-se, no caso apresentado, um método bastante robusto, gerando uma seção visivelmente mais livre das altas energias associadas às reverberações.

A aplicação do método em dado marinho da Bacia do Jequitinhonha, apresentou a deconvolução preditiva que utilizou o algoritmo de Morf de predição L como potencialmente promissora. Sua comparação com as demais seções empilhadas mostra uma atenuação mais efetiva das reflexões múltiplas ao longo de toda a imagem sísmica processada.

Embora tenha se utilizado a filtragem monocanal, os resultados promissores obtidos sugerem trabalhos adicionais que testem o método na forma multicanal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, INCT-GP/MCT e seus patrocinadores PETROBRAS, FAPESB e ANP.

REFERÊNCIAS

- Backus, M. M., 1959, Water reverberations - their nature and elimination: *Geophysics*, **24**, no. 2, 233–261.
- da Cruz, R. F. C. C., 2010, Atenuação da reflexão múltipla do fundo marinho utilizando a deconvolução preditiva adaptativa: Master's thesis, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil.
- Mayne, W. H., 1962, Common reflection point horizontal data stacking techniques: *Geophysics*, **27**, no. 6, 927–938.
- Morf, M., Dickinson, B., Kailath, T., and Vieira, A., 1977, Recursive solution of covariance equations for linear prediction: *IEEE Transactions Acoustics, Speech and Signal Processing*, **25**, no. 12, 429–433.
- Peacock, K. L., and Treitel, S., 1969, Predictive deconvolution: Theory and practice: *Geophysics*, **34**, 155–169.
- Porsani, M. J., and Ursin, B., 2007, Direct multichannel predictive deconvolution: *Geophysics*, **72**, no. 2, H11–H27.
- Porsani, M. J., 1992, Efficient solution of covariance equations with applications to seismic trace extrapolation and predictive deconvolution: *SEG Expanded Abstracts*, **11**, 1191–1194.
- Robinson, E. A., and Treitel, S., 1980, *Geophysical signal analysis*: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

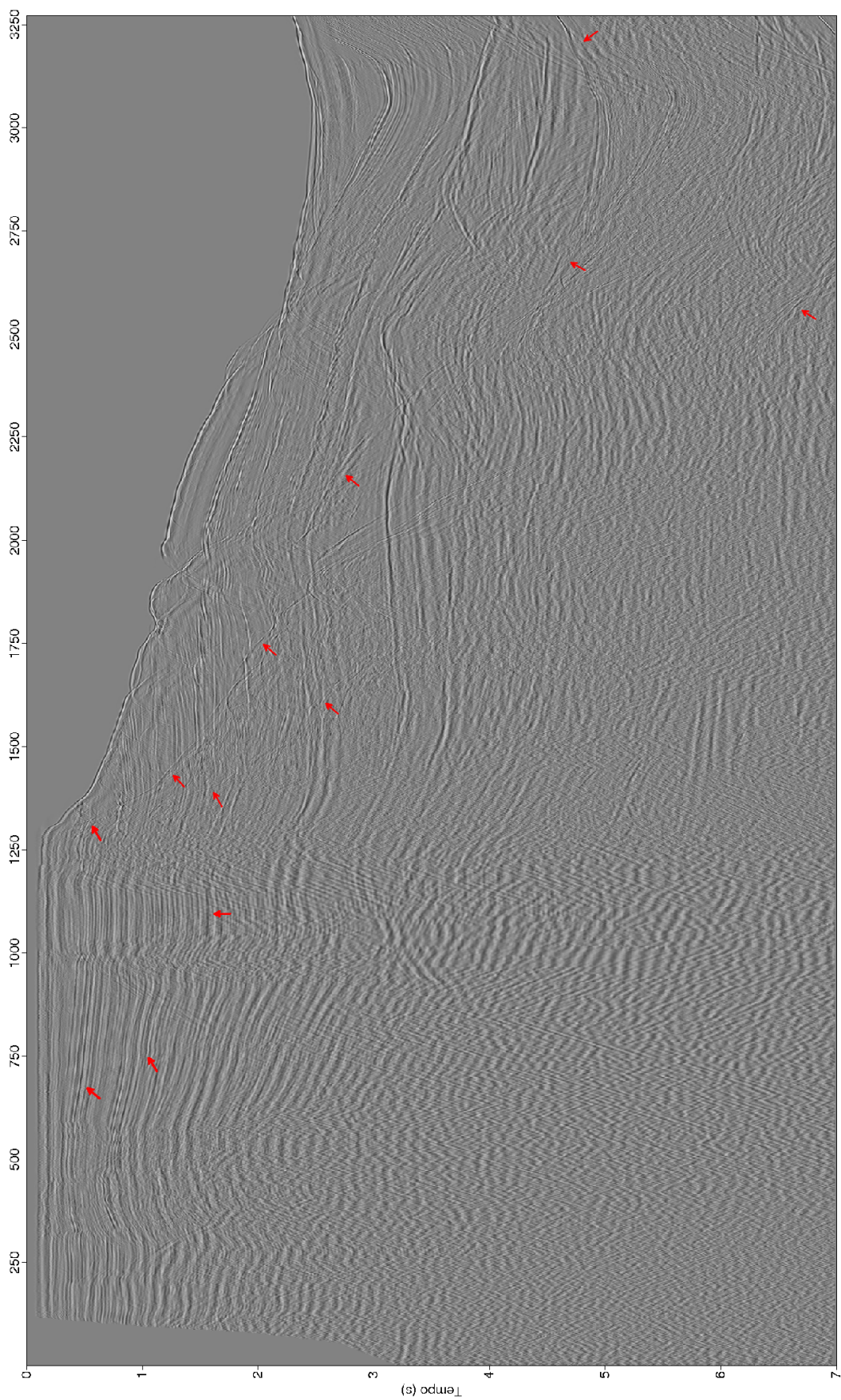


Figura 6: Seção empilhada.

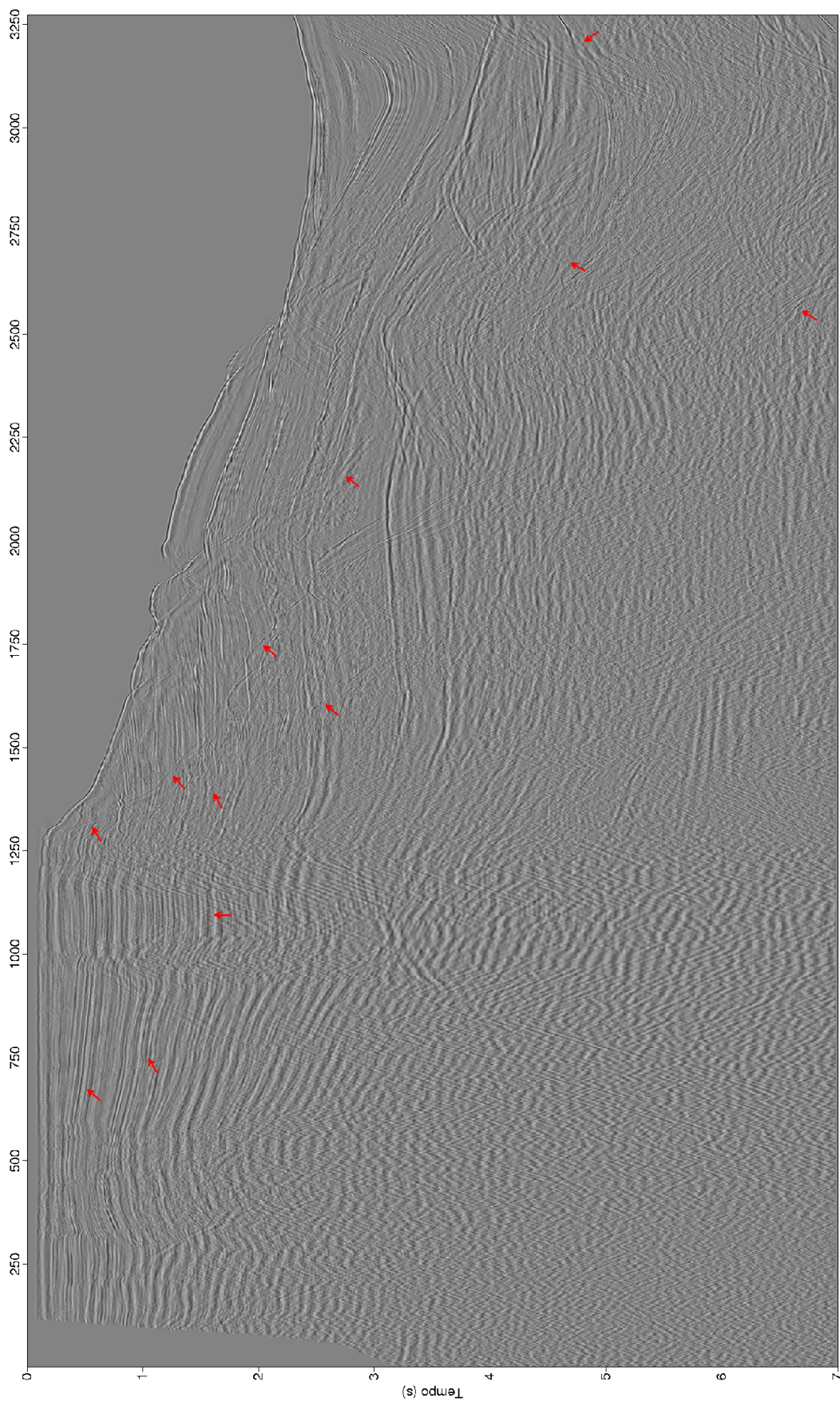


Figura 7: Seção empilhada após DAWL.

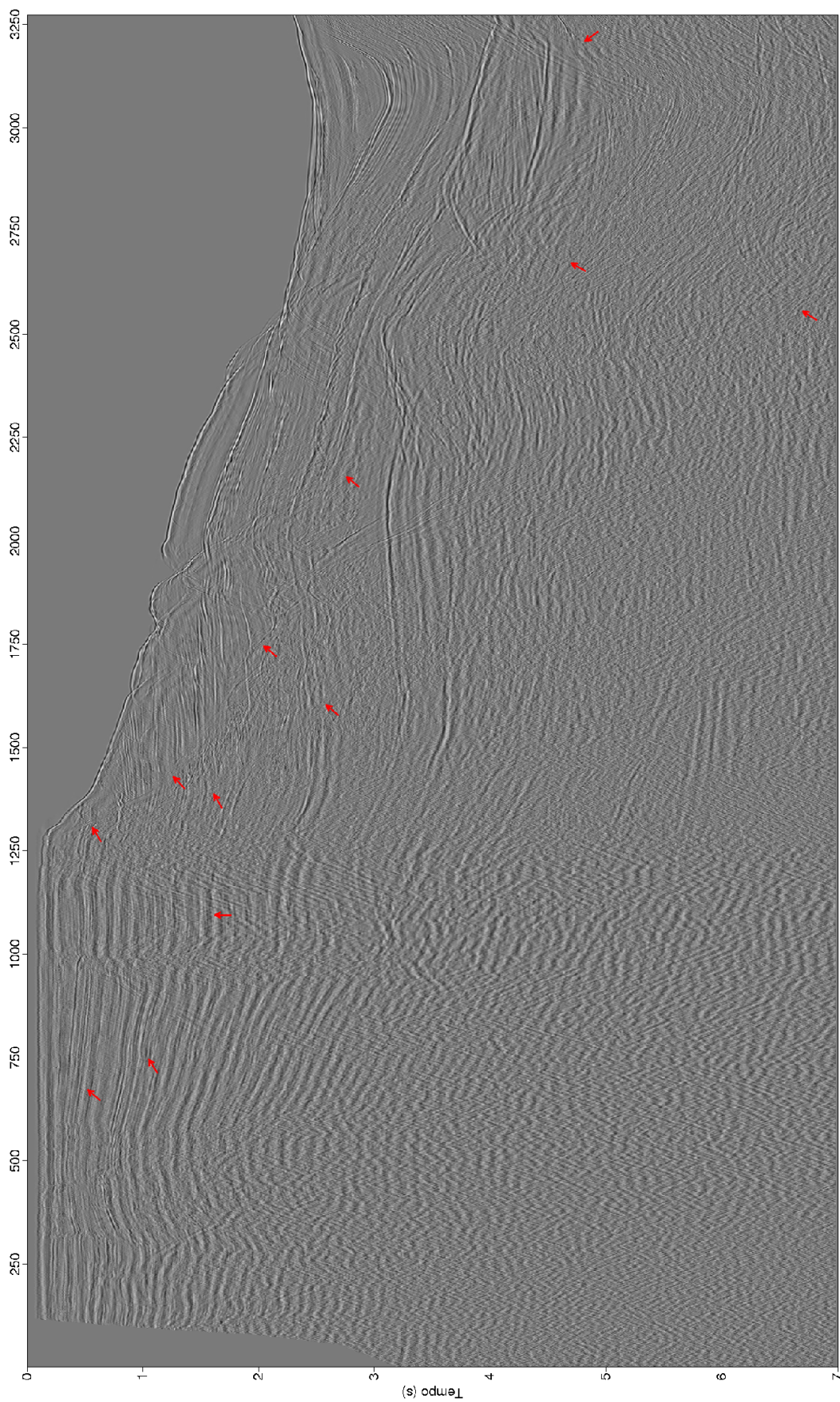


Figura 8: Seção empilhada após DAMP.

DECONVOLUÇÃO PREDITIVA ADAPTATIVA PARA ATENUAÇÃO DA REVERBERAÇÃO DO FUNDO MARINHO NA BACIA DO JEQUITINHONHA

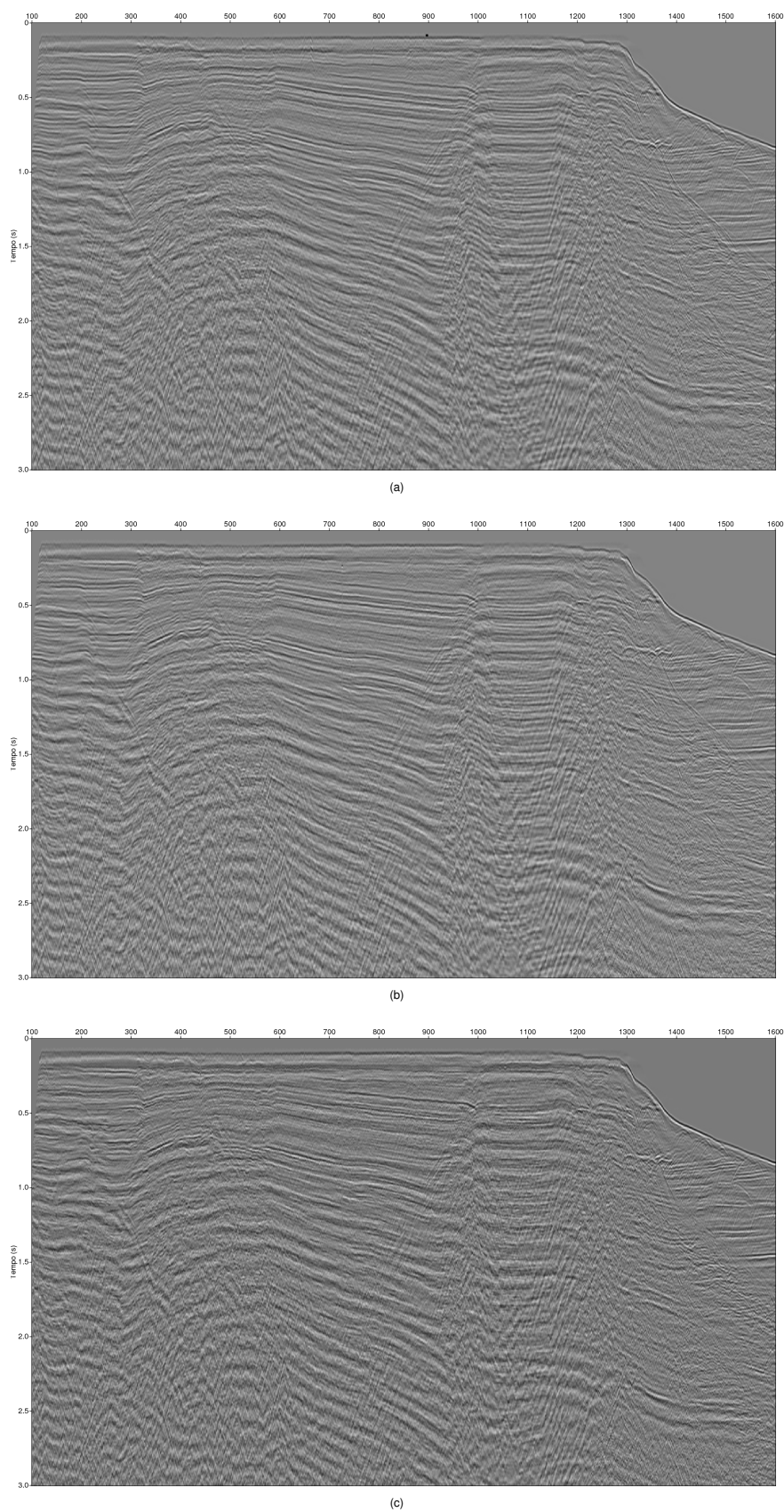
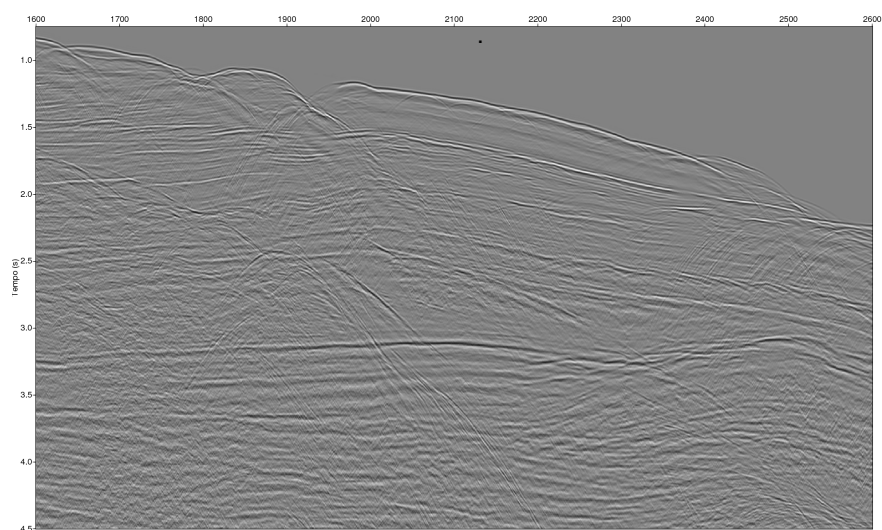
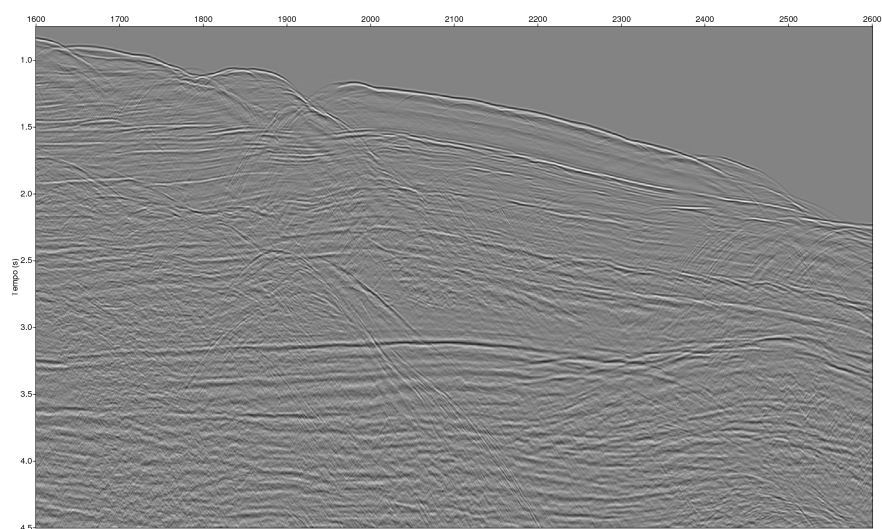


Figura 9: Detalhe na região rasa da seção empilhada bruta (a), deconvolvida pela DAWL (b) e DAMM (c).

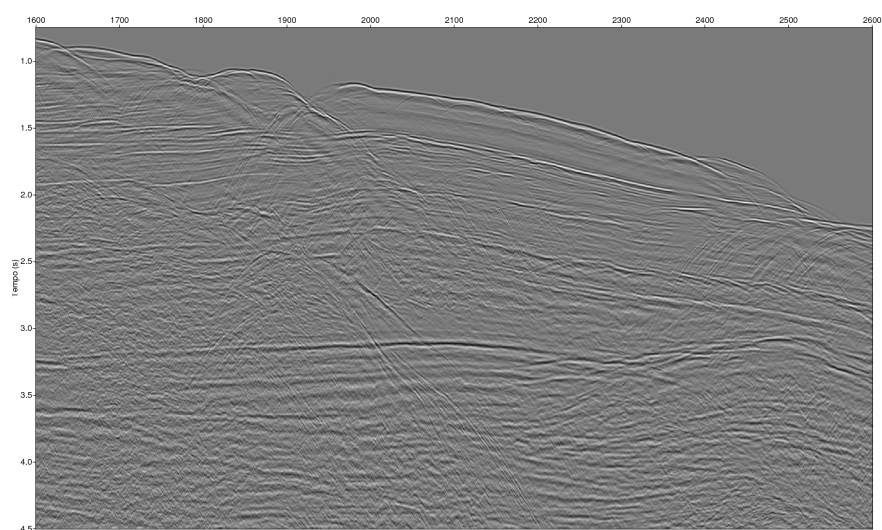
DECONVOLUÇÃO PREDITIVA ADAPTATIVA PARA ATENUAÇÃO DA REVERBERAÇÃO DO FUNDO MARINHO NA BACIA DO JEQUITINHONHA



(a)



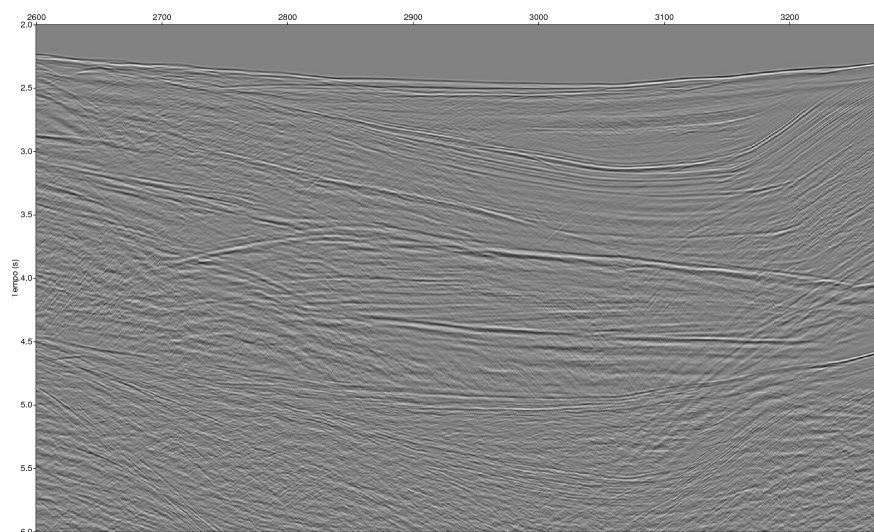
(b)



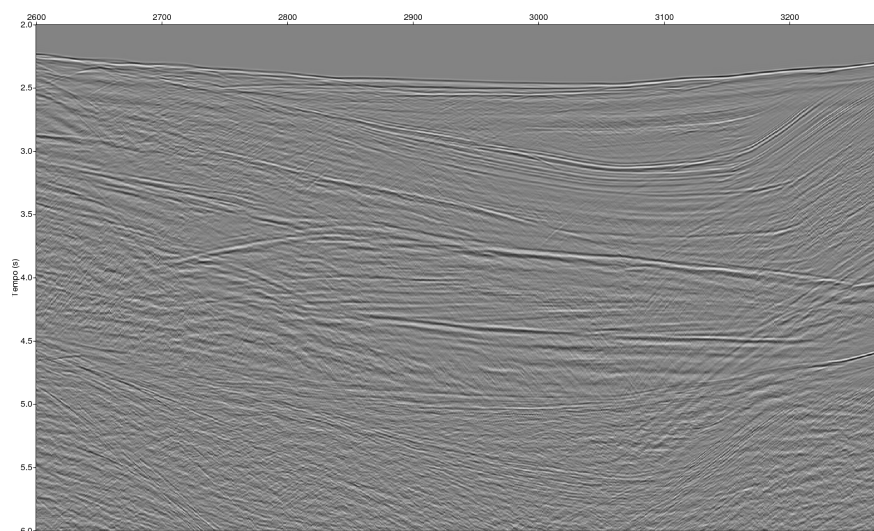
(c)

Figura 10: Detalhe na região do talude da seção empilhada bruta (a), deconvolvida pela DAWL (b) e DAMM (c).

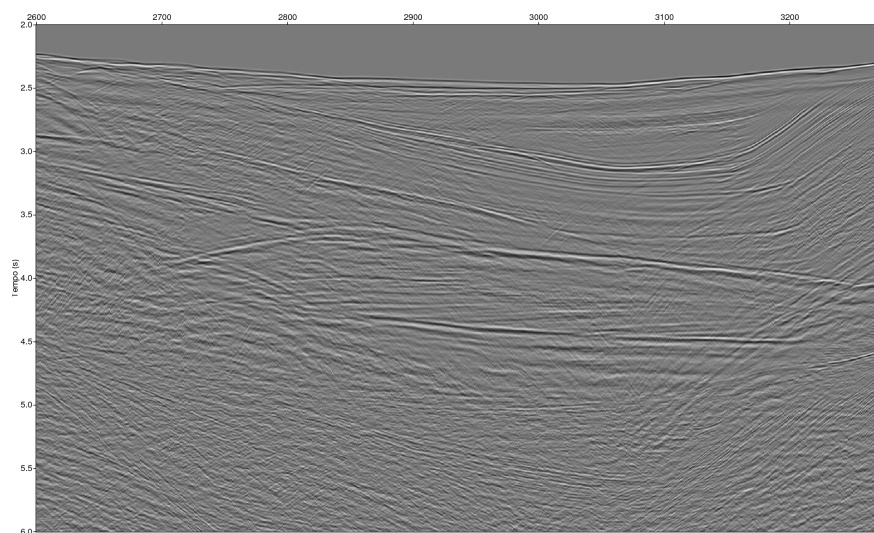
DECONVOLUÇÃO PREDITIVA ADAPTATIVA PARA ATENUAÇÃO DA REVERBERAÇÃO DO FUNDO MARINHO NA BACIA DO JEQUITINHONHA



(a)



(b)



(c)

Figura 11: Detalhe na região profunda da seção empilhada bruta (a), deconvolvida pela DAWL (b) e DAMM (c).