



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

CAROLINA TADAIESKY TAVARES

**PROCESSAMENTO DE DADOS SÍSMICOS EM UMA LINHA
2D DA BACIA DO CAMAMU**

BELÉM
2009

CAROLINA TADAIESKY TAVARES

**PROCESSAMENTO DE DADOS SÍSMICOS EM UMA LINHA
2D DA BACIA DO CAMAMU**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento as exigências para obtenção do diploma de Graduação em Geofísica. Orientadora: Ellen de Nazaré Souza Gomes

BELÉM
2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

T231p Tavares, Carolina Tadaiesky

Processamento de dados sísmicos em uma linha 2D da bacia do Camamu / Carolina Tadaiesky Tavares; Orientador: Ellen de Nazaré Souza Gomes – 2009

67 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) – Faculdade de Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2009.

1. Prospecção sísmica. 2. Processamento sísmico convencional. 3. Atenuação de múltiplas. 4. Migração pós-empilhamento. 5. SRME. I. Universidade Federal do Pará. II. Gomes, Ellen de Nazaré Souza, *orient.* III. Título.

CDD 20° ed.: 622.15

CAROLINA TADAIESKY TAVARES

**PROCESSAMENTO DE DADOS SÍSMICOS EM UMA LINHA
2D DA BACIA DO CAMAMU**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento as exigências para obtenção do diploma de Graduação em Geofísica.

Data de Aprovação: / /

Banca Examinadora:

Profª. Ellen de Nazaré Souza Gomes - Orientadora
Faculdade de Geofísica - Universidade Federal do Pará

Prof. Lourenildo W. Barbosa Leite - Membro
Faculdade de Geofísica - Universidade Federal do Pará

Prof. Jessé Carvalho Costa - Membro
Faculdade de Geofísica - Universidade Federal do Pará

BELÉM
2009

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Magali Tadaiesky Tavares, por nunca desistir de seus filhos. A meu pai Miracy Marques Tavares Junior pela força nas matérias de Cálculo. As minhas irmãs Daniela e Michelle, pelo apoio incondicional. A meu irmão Johann Free, pelos momentos de anestesiamento cerebral.

A orientora Ellen, aos professores que participaram da banca examinadora Jessé e Lorenildo.

As meninas superpoderosas Cristiane Costa e Marina Fagundes, ao Rodrigosempre, aos danidani e ao rafaelinefavel.

As instituições do projeto Petrobrás.

"Todo conhecimento passa antes pelos sentidos"

John Locke

RESUMO

O método sísmico possibilita investigações de alvos profundos com alta resolução e tem se tornado uma importante tecnologia na exploração de hidrocarbonetos. Na indústria de exploração de hidrocarbonetos empresas oferecem serviços especiais de softwares para processamento sísmico, neste trabalho utilizamos um dos pacotes conhecidos na indústria de exploração, que é o da empresa Landmark Inc, o ProMAX. Uma parte importante no processamento sísmico é a identificação e subsequente supressão das reflexões múltiplas para ajudar na interpretação das verdadeiras características da estrutura em subsuperfície. O presente trabalho teve por objetivo processar um conjunto de dados sísmicos 2D, relacionados a bacia do Camamu e apresentar uma estratégia para a atenuação de múltiplas de subsuperfície livre, que são muito comuns em levantamentos marinho.

Palavras Chaves: Prospecção Sísmica. Processamento Sísmico Convencional. Atenuação de Múltiplas. Migração Pós-Empilhamento. SRME.

ABSTRACT

The seismic method allows investigations of deep targets with high resolution and has become an important technology in operation hydrocarbons. In the industry of hydrocarbon exploration companies offer special services software for seismic processing, this work we use a package known in exploration industry, which is the Landmark Inc, the ProMAX. An important part of seismic process is the identification and subsequent suppression of multiple reflections to help in the interpretation of true characteristics of the structure in the subsurface. This study aimed to process a set of 2D seismic data, related to basin Camamu and present a strategy for mitigation of multiple subsurface free, which are very common in surveys environment.

keywords: Seismic Prospect. Conventional Seismic Processing. Mutiple Atenuation. Pos-Stack Migration. SRME.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	Mapa com a localização da bacia do Camamu.	15
Figura 2.2	Arcabouço estrutural da Bacia de Camamu, segundo Netto e Ragagnin (1990).	17
Figura 2.3	Seção geológica idealizada da bacia do Camamu.	18
Figura 3.1	Aquisição sísmica com o arraste de cabo marinho.	20
Figura 3.2	Simulação de um dado sísmico mostrando eventos, tais como: onda direta (d), fonte fantasma decomposta da onda direta (sgd), reflexão primária (p), receptor fantasma decomposta da reflexão primária (rgp) e múltiplas (m). Fonte: petroleumseismology.com	21
Figura 3.3	Seção de afastamento-mínimo, 300 m, da linha 19 do Camamu. Na parte profunda do levantamento, verifica-se possíveis múltiplas de superfície livre demarcadas pela letra A, na parte rasa verifica-se multiplas complexas com o formato zebreado. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores.	23
Figura 3.4	Configuração na forma de fonte-comum.	24
Figura 3.5	Configuração na forma de afastamento-comum.	24
Figura 3.6	Configuração na forma de ponto-médio-comum (CMP).	25
Figura 3.7	Configuração afastamento nulo. Cada par fonte-receptore possui afastamento nulo. Ainda que este tipo de configuração não seja realizável nas medidas de campo, ela é muito utilizada durante processamento sísmico.	25
Figura 4.1	A equação da velocidade NMO é determinada considerando a hipérbole para pequenas aberturas (equação (4.6)). Por outro á, a velocidade de empilhamento é derivada da hipérbole de melhor ajuste sobre o comprimento do lanço (equação (4.5)). (a) é o atual tempo de trânsito. (b) a hipérbole de melhor ajuste sobre o afastamento de tamanho OA. (c) é a hipérbole para pequenas aberturas (adaptado de (HUBRAL; KREY, 1980)).	31
Figura 4.2	Painel do CDP 61 para a marcação das velocidades para aplicação da correção e empilhamento NMO da linha 19 do Camamu. (a) Espectro de Velocidade; (b) Painéis de velocidade constante (CVP); (c) Empilhamentos de velocidade constante (CVS).	33

Figura 4.3 (a) Geometria NMO para um refletor plano horizontal. O tempo de trânsito é descrito pela equação 4.6. (b) Família CMP associada com a geometria da (a). A curva de tempo de trânsito para o refletor plano é uma hipérbole com seu ápice no traço de afastamento nulo.	35
Figura 4.4 Família CMP com aplicação da correção NMO.	36
Figura 4.5 (a) Família CMP contendo um único evento. (b) Mesma família já aplicada a correção NMO, usando a velocidade NMO ótima. (c) Sobrecorreção devido a utilização da velocidade NMO menor que a velocidade do meio acima do refletor. (d) Subcorreção devido a utilização da velocidade NMO maior que a velocidade do meio acima do refletor ...	36
Figura 4.6 Um sinal com período T (a) é estirado para um sinal (b) de período $T_0 > T$ após a correção NMO.	37
Figura 4.7 Figura com exemplos de seções sísmicas que não representam a geometria real da sub-superfície. Em (a), um sinclinal, cujo centro de curvatura situa-se abaixo da superfície, no assoalho oceânico é imageado como um “bow-tie”. Em (b), a adição de difrações do final do refletor resulta em uma seção em tempo complexa e em (c), um refletor inclinado esta mais raso em uma seção em tempo.	38
Figura 4.8 Geometria de registro de afastamento nulo (a) e uma simulação hipotética do experimento de afastamento nulo usando refletores explosivos (b) (Claerbout, 1978). .	39
Figura 5.1 (a) Evento sísmico com duas reflexões ascendentes, setas em azul e (b) uma reflexão descendente, seta em azul, na superfície livre.	41
Figura 5.2 Múltipla de superfície de primeira ordem.	43
Figura 5.3 Múltipla de superfície de segunda ordem.	43
Figura 5.4 Sismograma esquemático no domínio $\tau - p$ mostrando múltiplas reverberadas, em que w é a reflexão no fundo do mar. P é uma primária.	46
Figura 6.1 (a) Etapas do processamento sísmico básico aplicadas neste trabalho. (b) Etapas do processamento sísmico básico incluindo o filtro Radon. (c) Etapas do processamento sísmico básico incluindo os filtros SRME e Radon.	51
Figura 6.2 Seção de afastamento-comum, 566.6 m, da linha 19 do Camamu, após a deconvolução. Na parte profunda do levantamento, as múltiplas de superfície livre estão demarcadas pela letra A, na parte rasa verifica-se possíveis refletores. Todos os possíveis refletores estão assinalados pela letra B.	53

Figura 6.3 Seção de afastamento-comum, 566.6 m, da linha 19 do Camamu, após a deconvolução e aplicação do filtro Radon. Comparando com a Figura anterior, há uma atenuação das múltiplas de superfície livre entre os CDP's 121 a 295 a partir dos tempos 3800 e 4200 ms. Ainda na parte rasa, verifica-se possíveis refletores, assinalados pela letra B.	54
Figura 6.4 Seção de afastamento-comum, 566.6 m, da linha 19 do Camamu, aplicado somente o SRME. Verifica-se a atenuação múltiplas de superfície livre mais rasas, mais é possível verificar em algumas regiões, CDP's 293 a 467, a presença de cicatrizes deixadas pela subtração das múltiplas. As múltiplas mais profundas, atenuadas na Figura 6.3, são visíveis. Esses dados não foram submetidos a correção de amplitude e a deconvolução.	55
Figura 6.5 Seção de afastamento-comum, 566.6 m, da linha 19 do Camamu, aplicado SRME e filtro Radon, verifica-se um melhor resultado para a atenuação e eliminação de múltiplas de superfície livre em relação a seção com apenas o Radon ou somente com o SRME, devido a união da melhor atenuação das múltiplas na parte funda dos dados com SRME e a eliminação da múltipla de superfície livre entre os tempos 3800 e 4200 ms dos dados com Radon. Da mesma forma que a Figura anterior, os dados não foram submetidos a correção de amplitude e deconvolução.	56
Figura 6.6 Seção empilhada da linha 19 do Camamu, após a deconvolução, verifica-se a eliminação das múltiplas complexas na parte rasa, a aparição de alguns possíveis refletores na parte rasa, entre os CDPs 685 e 803, e funda, entre os CDPs 331 e 449, demarcados com a letra B e a atenuação das múltiplas de superfície livre. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores.	58
Figura 6.7 Seção empilhada da linha 19 do Camamu com a aplicação do filtro Radon aos dados, verifica-se um melhor resultado para a atenuação de múltiplas de superfície livre em relação a seção com apenas o empilhamento e a eliminação da múltipla de superfície livre entre os tempos 3800 e 4200 ms. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores.	59
Figura 6.8 Seção empilhada da linha 19 do Camamu com a aplicação do SRME e do filtro Radon aos dados, verificamos a atenuação das múltiplas de superfície livre, demarcadas com a letra A. Na parte rasa não foi aplicado o SRME. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores.	60
Figura 6.9 Seção migrada da linha 19 do Camamu de acordo com o item (a) do fluxo da Figura 6.1, verifica-se a eliminação das múltiplas complexas na parte rasa, a aparição de alguns possíveis refletores na parte rasa, entre os CDPs 685 e 803, e funda, entre os CDPs	

331 e 449, demarcados com a letra B e a atenuação das múltiplas de superfície livre. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores. 62

Figura 6.10 Seção migrada da linha 19 do Camamu com a aplicação do filtro Radon aos dados, verifica-se um melhor resultado para a atenuação de múltiplas de superfície livre em relação a seção com apenas o migrado e a eliminação da múltipla de superfície livre entre os tempos 3800 e 4200 ms. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores. 63

Figura 6.11 Seção migrada da linha 19 do Camamu com a aplicação do SRME e do filtro Radon aos dados, verifica-se na parte funda a eliminação das múltiplas de superfície livre com algumas cicatrizes, demarcadas com a letra A, na parte rasa foi aplicado somente o filtro Radon. Verificar a horizontalização dos reletores na parte rasa. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores. 64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	BACIA DO CAMAMU	15
3	AQUISIÇÃO SÍSMICA	19
3.1	ARRASTE DE CABO MARINHO	19
3.1.1	Geometria do levantamento da linha 19	22
3.2	DOMÍNIOS DE AQUISIÇÃO SÍSMICA	24
4	PROCESSAMENTO DE DADOS SÍSMICOS	26
4.1	PRÉ-PROCESSAMENTO	26
4.1.1	Incorporação da geometria do levantamento	26
4.1.2	Edição de traços	26
4.1.3	Aplicação de filtros	27
4.1.4	Correção de amplitude	27
4.2	PROCESSAMENTO	27
4.2.1	Deconvolução	28
4.2.1.1	Modelo Convolutacional	28
4.2.2	Análise de velocidade	31
4.2.3	Correção e empilhamento NMO	34
4.2.4	Migração	38
5	ATENUAÇÃO DE MÚLTIPLAS	41
5.1	CLASSIFICAÇÃO	42
5.2	TÉCNICAS DE ATENUAÇÃO DE MÚLTIPLAS	43
5.2.1	Filtro Radon	44

5.2.2	Método de eliminação de reflexões múltiplas relacionadas a superfície (SRME)	46
6	RESULTADOS	51
6.1	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A sismica de reflexão é um dos métodos de prospecção geofísica mais utilizado na indústria de petróleo, devido a mesma fornecer imagens de estruturas geológicas em subsuperfície de alta definição.

As imagens da subsuperfície são geradas a partir de dados sísmicos multicobertura. Aos dados medidos são aplicadas técnicas de tratamento do sinal para ressaltar as reflexões primárias e atenuar outros eventos. Os eventos indesejáveis são classificados como ruídos coerentes ou não coerentes. Dentre os ruídos coerentes tem-se registros repetitivos de reflexões primárias conhecidos como múltiplas.

As múltiplas estão presentes tanto nos dados marinhos quanto terrestres. Nos dados marinhos, devido a interface ar-água, é comum o aparecimento das chamadas múltiplas de superfície livre. Há uma série de técnicas para a supressão de múltiplas. Essas técnicas são baseadas na periodicidade das múltiplas, como por exemplo a Eliminação de reflexões múltiplas relacionadas a superfície (conhecido por sua sigla em inglês SRME¹) (VERSCHUUR e KABIR, 1992), ou no diferente comportamento espacial entre múltiplas e reflexões primárias, como por exemplo o filtro Radon (VERSCHUUR e KABIR, 1992).

Neste trabalho é apresentado um fluxo de processamento sísmico aplicado a dados reais marinhos 2D da bacia do Camamu que tem por objetivo a atenuação das múltiplas de superfície livre, onde as técnicas do filtro Radon e SRME são analisadas.

Os capítulos estão organizados da seguinte forma: o segundo capítulo é apresentada a localização da linha sísmica utilizada nesse trabalho, no terceiro capítulo é apresentada o tipo de aquisição sísmica utilizado, o quarto capítulo apresenta as etapas do processamento sísmico convencional, o quinto capítulo são apresentadas técnicas de atenuação de múltiplas de superfície livre aplicadas aos dados e por fim, no sexto capítulo, temos a discussão dos resultados.

¹Surface Related Multiple Elimination

2 BACIA DO CAMAMU

Este capítulo apresenta a área onde foi adquirida a linha sísmica que é objeto de estudo deste trabalho. Esta situa-se sobre a lâmina de água da Bacia Sedimentar Marinha do Camamu localizada no nordeste brasileiro.



Figura 2.1: Mapa com a localização da bacia do Camamu.

De todas as bacias marginais cretáceas do Brasil, a bacia do Camamu, situada no litoral central do Estado da Bahia (Figura 2.1) é uma das menos conhecidas. Isto deve-se certamente a sua fisiografia, visto que grande parte da sua porção terrestre ocorre numa região costeira extremamente recortada, com inúmeras ilhas, amplos estuários e uma grande baía.

A Bacia de Camamu é limitada a norte pela Falha da Barra, a sul pelo Alto de Taipus, a oeste pela Falha de Maragogipe e ao leste, o meridiano 38° W é tido como seu limite mais externo. Entre o embasamento, a oeste, e a linha de costa aflora uma faixa de sedimentos com no máximo 20 km de largura e 140 km de extensão.

De acordo com o arcabouço estrutural proposto por NETTO e RAGAGNIN (1990), a faixa de sedimentos aflorantes é limitada pela Falha da Barra e pela Falha de Maragogipe, a qual constitui o compartimento interno da bacia. O compartimento central, localizado entre a Falha da Barra e a Charneira Buracica, tem uma faixa de sedimentos aflorantes na parte emersa da Ilha de Itaparica. O compartimento externo ou leste, abrange a porção submersa da bacia (Figura 2.2).

As acumulações de hidrocarbonetos na bacia do Camamu estão associadas a trapas estruturais ou mistas na seção rift e pré-rift. O maior número de acumulações ocorre na Formação Morro do Barro, de idade eocretácea, em reservatórios interpretados como lobos turbidíticos lacustres, seguidas pelos reservatórios neojurássicos da Formação Sergi, associados a arenitos flúvio-eólicos. Os principais geradores são atribuídos a sedimentos lacustres de água doce da Formação Morro do Barro. As formações podem ser melhor visualizadas na Figura 2.3, que mostra uma seção geológica idealizada de uma linha do tipo dip¹ da bacia do Camamu. A linha estudada neste trabalho também é uma linha 2D do tipo dip denominada linha 2475519. Durante todo o trabalho nos referiremos a esta linha como linha 19. A aquisição utilizada é de arraste de cabo marinho², que será apresentado um breve resumo sobre este no capítulo a seguir.

¹Linha perpendicular a margem da bacia.

²Conhecido em inglês por Mariner Towed Streamer.

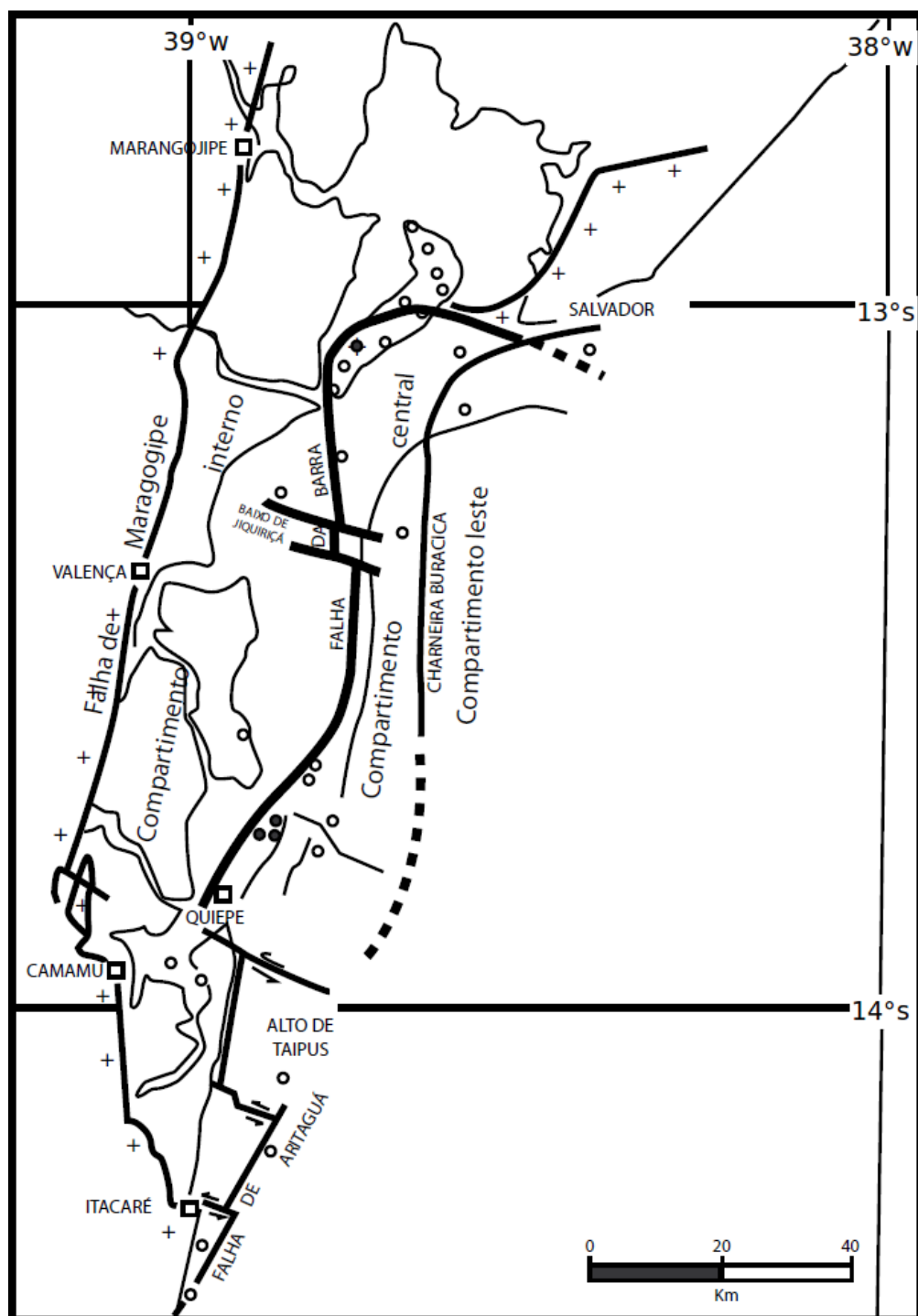


Figura 2.2: Arcabouço estrutural da Bacia de Camamu, segundo Netto e Ragagnin (1990).

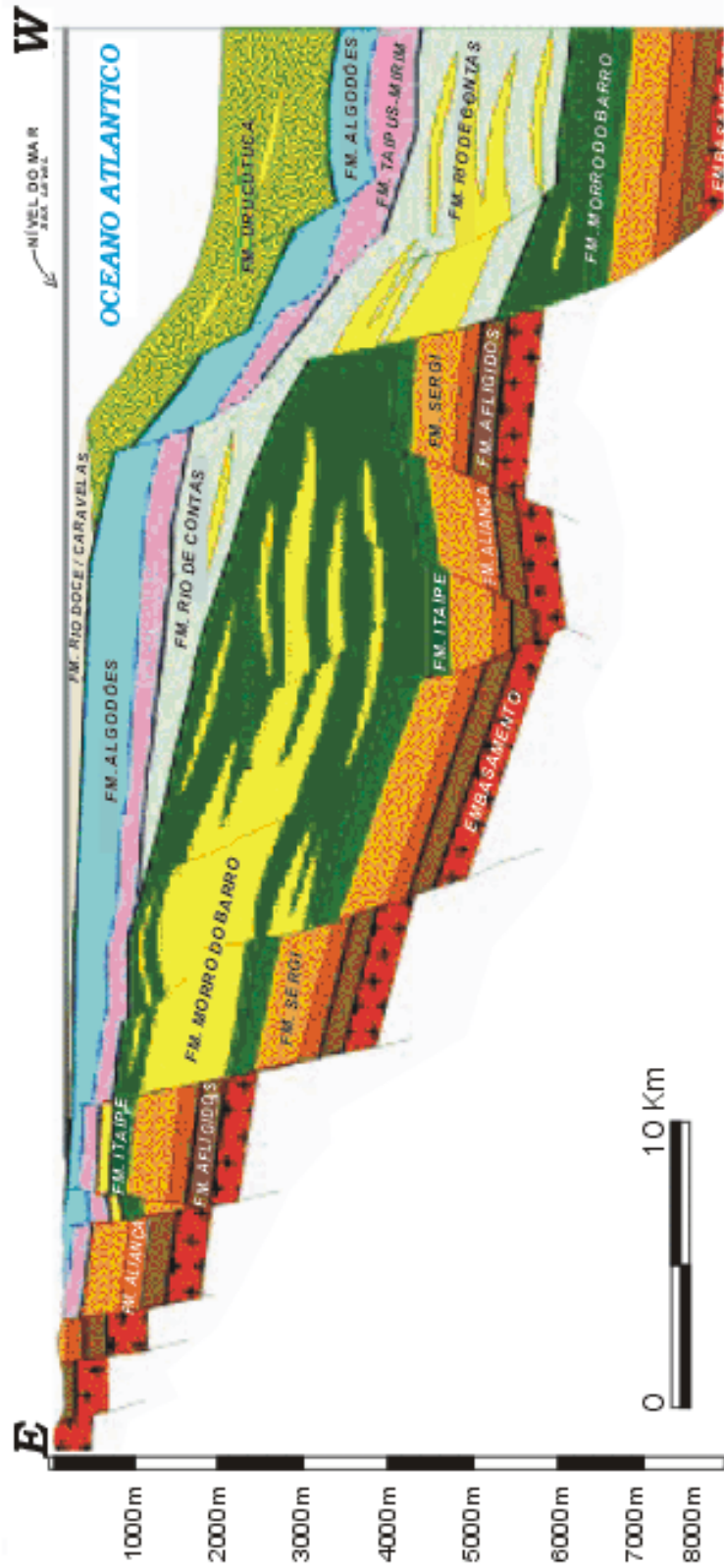


Figura 2-3: Seção geológica idealizada da bacia do Camamu.

3 AQUISIÇÃO SÍSMICA

A aquisição de dados sísmicos tem por objetivo obter informação do meio em subsuperfície. A percepção da subsuperfície através de dados sísmicos é obtida por um sistema de fontes que são utilizadas para iluminação de um meio e por receptores utilizados para captar os movimentos neste meio. Parâmetros como o número de fontes, receptores e seus espaçamentos são definidos na geometria de aquisição. As regiões onde se pode colocar os arranjos de fonte e receptores limitam-se na superfície (ou próximo a superfície), dentro da água, no fundo do mar ou em poços. De acordo com o lugar onde a aquisição é feita ela se divide em aquisição terrestre, marinha ou de zona de transição. Para maiores detalhes sobre os vários tipos de aquisição ver (IKELLE e AMUNDSEN, 2005).

Neste trabalho, nos deteremos na configuração da geometria arraste de cabos marinho, uma vez que, o dado estudado é resultante de uma aquisição marinha 2D utilizando esse tipo de aquisição em uma região da Bacia do Camamu.

3.1 ARRASTE DE CABO MARINHO

Na aquisição de dados sísmicos, através de arraste de cabos, as fontes e os cabos que contém os receptores ficam imersos na água. Logo, o meio onde será feita as medidas é considerado como acústico e homogêneo e onde são feitas apenas medidas do campo de pressão (IKELLE e AMUNDSEN, 2005).

Na aquisição de dados sísmicos utilizando o levantamento de arraste de cabo marinho, as fontes e os cabos que contém os receptores ficam imersos na água a uma profundidade entre 5 a 12 metros. A fonte utilizada é o canhão-de-ar. Na Figura 3.1 tem-se uma ilustração de um levantamento 2D de arraste de cabo marinho.

Ainda na Figura 3.1 é ilustrado as ondas descendentes que saem das fontes e a ondas ascendentes que chegam aos receptores no cabo, representando as reflexões primárias. Neste tipo de levantamento, além dos eventos de reflexão primária, devido a interface água-ar são observados outros eventos como as múltiplas de superfície livre, fontes e receptores fantasmas.

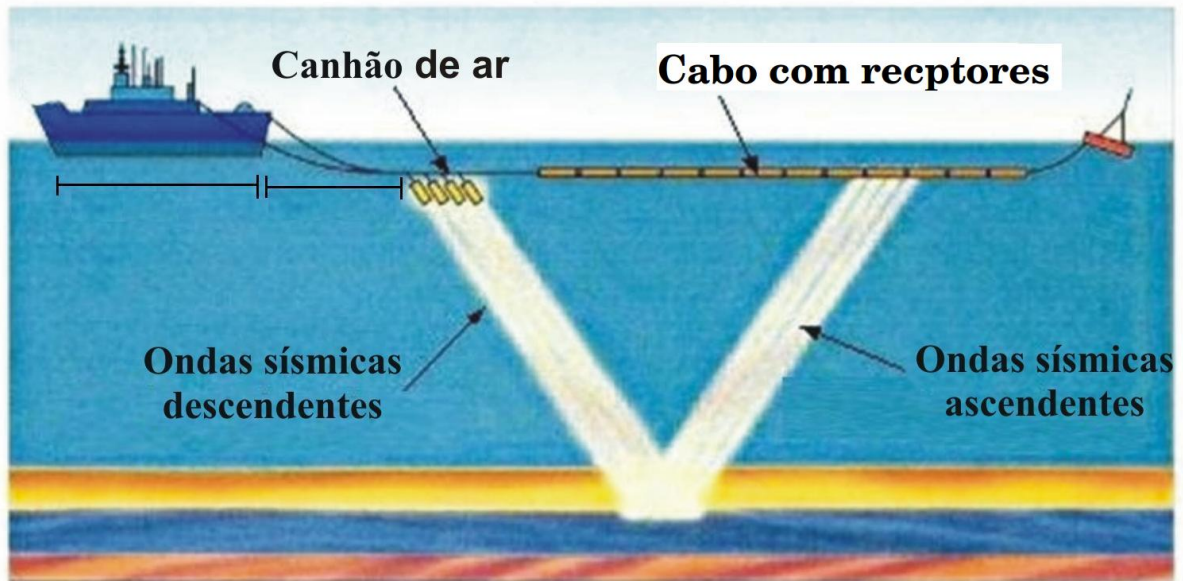


Figura 3.1: Aquisição sísmica com o arraste de cabo marinho.

Com objetivo de ilustrar os diferentes eventos registrados nas aquisições sísmicas de arraste de cabo marinho, é apresentado na próxima seção um breve resumo sobre esses eventos.

Eventos observados no levantamento de arraste de cabo

O sismograma apresentado na Figura 3.2 é resultante de um dado sintético em um levantamento de arraste de cabo marinho. Nesta Figura, para uma família de fonte comum são apresentados eventos de onda direta, reflexões primárias, múltiplas, fontes e receptores fantasmas. Na parte de baixo das Figuras, esses eventos são apresentados de acordo com Diagrama de Feynman.

Onda Direta - d - Evento gerado pela a onda que se move diretamente da fonte para o receptor sem interceptar nenhum obstáculo (ponto difrator).

Reflexão Primária - p - Evento gerado por uma única reflexão ou difração da onda antes de chegar ao receptor.

Fonte Fantasma - sgd - Evento gerado quando a onda é refletida na superfície livre ao "sair" da fonte.

Receptor Fantasma - rgp - Evento gerado quando a onda é refletida na superfície livre antes de chegar ao receptor.

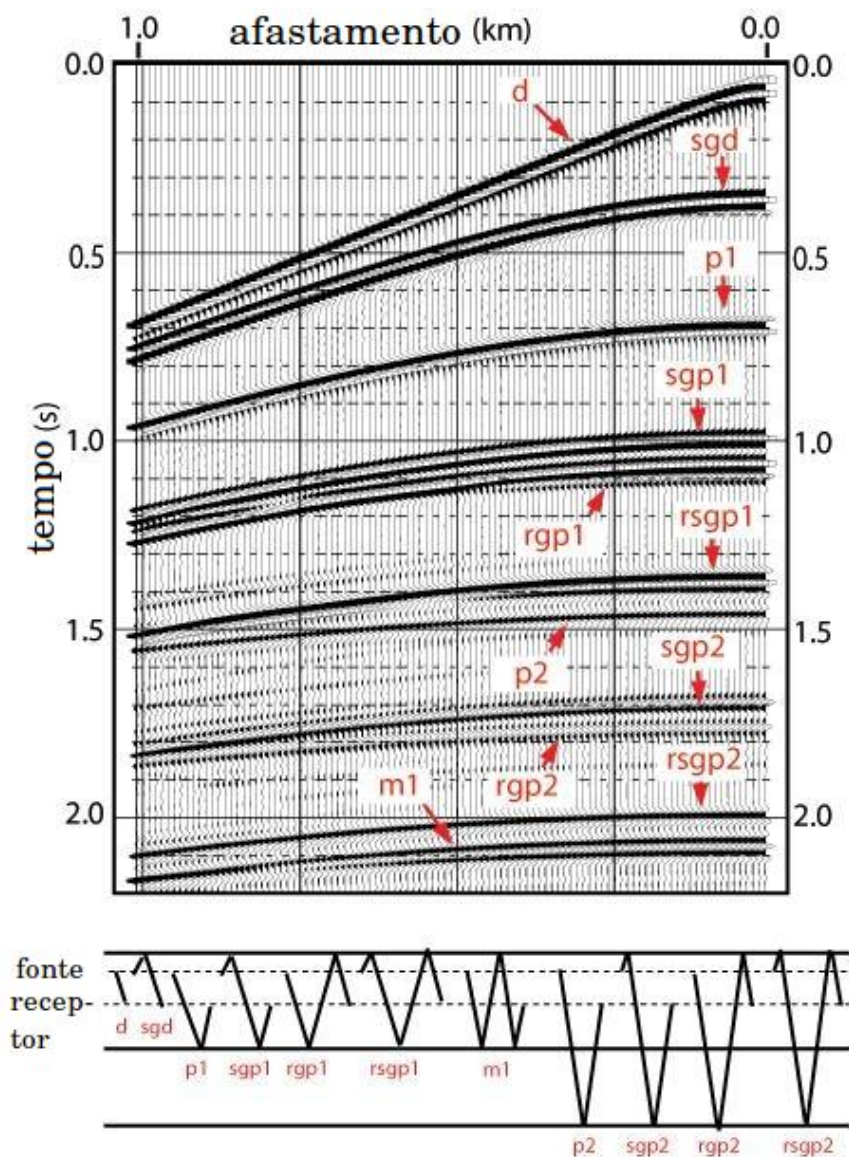


Figura 3.2: Simulação de um dado sísmico mostrando eventos, tais como: onda direta (d), fonte fantasma decomposta da onda direta (sgd), reflexão primária (p), receptor fantasma decomposta da reflexão primária (rgp) e múltiplas (m).

Fonte: petroleumseismology.com

Múltipla de superfície livre - m - Evento gerado quando a onda é refletida várias vezes na superfície livre antes de chegar ao receptor, sendo que ao sair da fonte a onda é refletida na interface água-terra. A ordem da múltipla de superfície livre é determinada de acordo com o número de vezes que ela é espalhada na superfície livre.

Maiores detalhes sobre reflexões múltiplas não apenas em levantamentos marinhos além

das técnicas de atenuação das mesmas são apresentadas no capítulo 5.

3.1.1 Geometria do levantamento da linha 19

As informações sobre a geometria do levantamento da linha 19 são apresentadas na Tabela 3.1.

Informação	Valor
Número de tiros	1394
Intervalo entre tiros	26,67 m
Profundidade da fonte	8 m
Número de receptores	240
Intervalo entre receptores	13,33 m
Profundidade do cabo	10,5 m
Intervalo de amostragem	4 ms
Tempo de registro	8 s
Afastamento mínimo	300 m
Afastamento máximo	3485,8702 m

Tabela 3.1: Tabela com a geometria utilizada na linha 19 da Bacia do Camamu.

Na Figura 3.3 é apresentada a linha 19 em uma seção de afastamento-mínimo, 300 m. De acordo com essa Figura observa-se que a linha possui duas regiões distintas, uma região profunda, da fonte 1 a 581, e em uma região rasa, da fonte 582 a 1347. Na parte profunda observa-se possíveis múltiplas de superfície livre que são demarcadas pela letra A, além de possíveis refletores, letra B. Na parte rasa observa-se possíveis refletores demarcados pela letra B e verifica-se múltiplas complexas de formato zebrado.

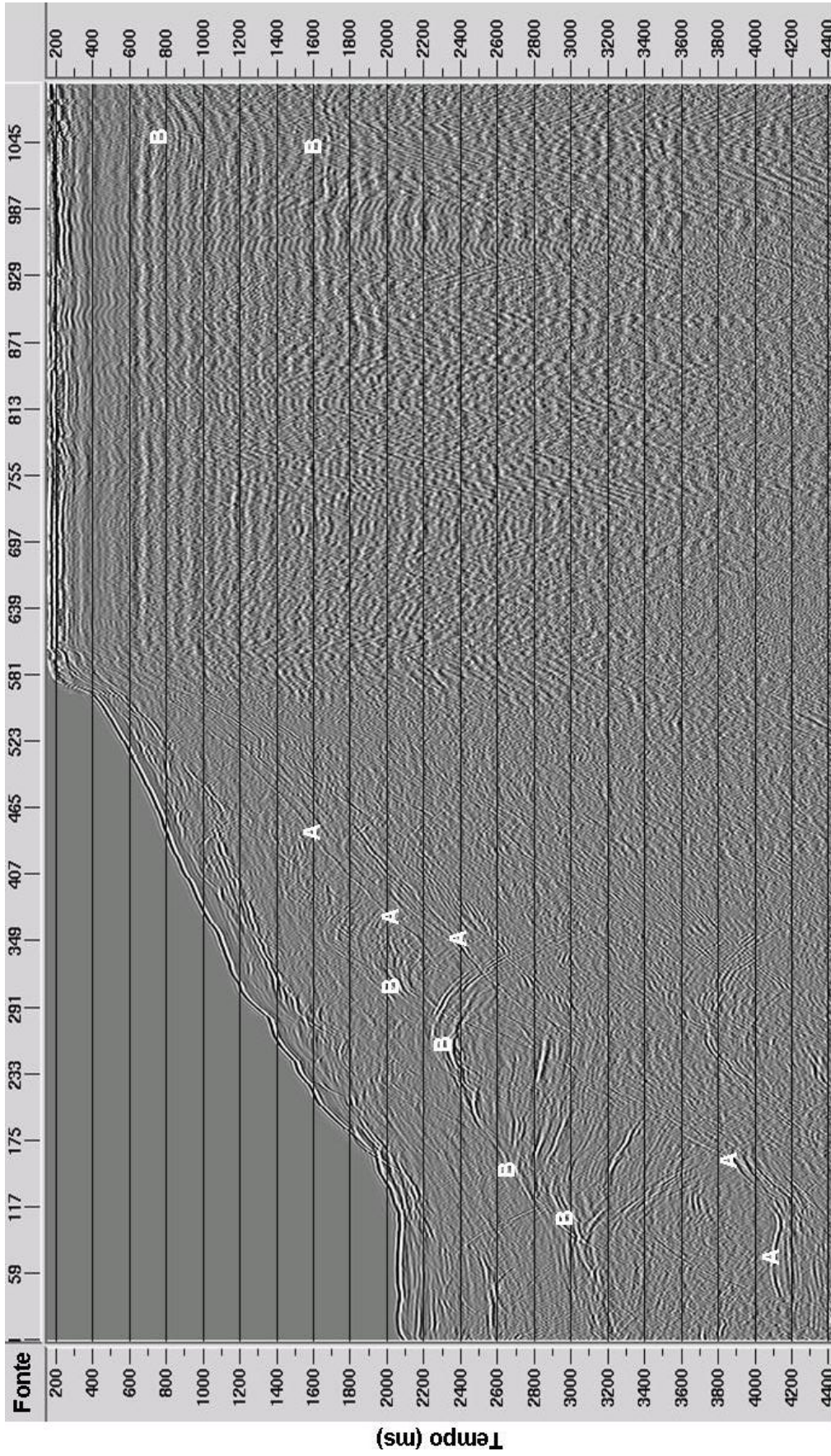


Figura 3.3: Seção de afastamento-mínimo, 300 m, da linha 19 do Camamu. Na parte profunda do levantamento, verifica-se possíveis múltiplas de superfície livre demarcadas pela letra A, na parte rasa verifica-se múltiplas complexas com o formato zebrado. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores.

3.2 DOMÍNIOS DE AQUISIÇÃO SÍSMICA

A aquisição dos dados sísmicos é feita na configuração de Fonte-comum (FC), em que o conjunto de traços provenientes de uma mesma fonte, como mostra na Figura 3.4. A aquisição de dados sísmicos é feita com as posições fonte-receptor (x_s, x_g).

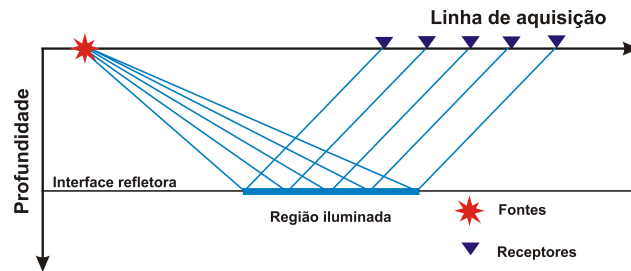


Figura 3.4: Configuração na forma de fonte-comum.

Para o processamento sísmico, há várias formas de organizar os traços sísmicos de acordo com o objetivo (SHERIFF, 1995).

A família afastamento-comum (AC), é um conjunto de traços de reflexão sísmica que apresentam o mesmo afastamento fonte-receptor como mostra na Figura 3.5.

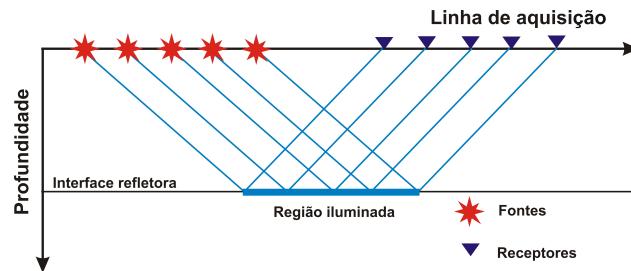


Figura 3.5: Configuração na forma de afastamento-comum.

Para a análise de velocidade o dado é configurado no formato ponto-médio-comum (CMP)¹, que é o conjunto de traços com o mesmo ponto médio entre fonte e receptor (Figura 3.6). As equações que relacionam o ponto-médio-comum com as coordenadas da fonte (x_s) e do receptor (x_r) são:

$$x_m = \frac{x_s + x_r}{2}, \quad (3.1)$$

¹Do inglês Common Mid Point

$$h = \frac{x_r - x_s}{2}, \quad (3.2)$$

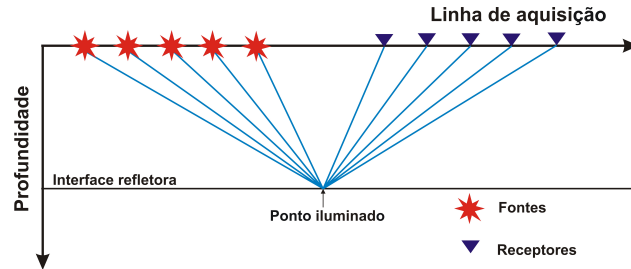


Figura 3.6: Configuração na forma de ponto-médio-comum (CMP).

A técnica de organização em famílias CMP, tem por objetivo, melhorar a relação sinal-ruído e promover redundância das fontes, n_s , com espaçamentos entre fonte, Δ_s . Cada fonte é registrada por vários receptores, n_r , cada qual com afastamento crescente e intervalos, Δr (espaçamento entre receptores). Desta forma, cada ponto em subsuperfície é iluminado várias vezes (cobertura). O número total de vezes n , que um ponto é iluminado, é dado pela equação, (YILMAZ, 1987):

$$n = \frac{n_r \Delta_r}{2\Delta_s} \quad (3.3)$$

Outra configuração muito utilizada na técnica CMP é a seção afastamento nulo, na qual o par fonte e receptor estão situados no mesmo ponto Figura 3.7.

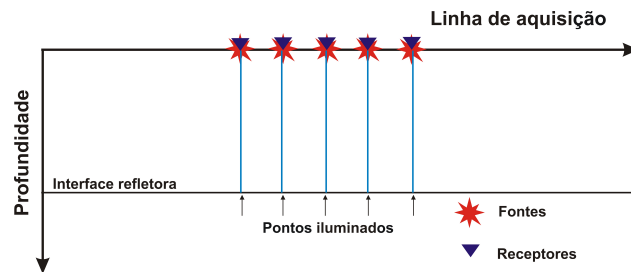


Figura 3.7: Configuração afastamento nulo. Cada par fonte-receptore possui afastamento nulo. Ainda que este tipo de configuração não seja realizável nas medidas de campo, ela é muito utilizada durante processamento sísmico.

Existem outros domínios de aquisição sísmica, no entanto só mencionamos apenas os domínios de aquisição sísmica tratados neste trabalho.

4 PROCESSAMENTO DE DADOS SÍSMICOS

Neste capítulo são apresentadas algumas técnicas de processamento sísmico convencional utilizadas no tratamento da linha 19, com objetivo principal de atenuação de múltiplas de superfície livre. Todo o processamento sísmico foi realizado no software ProMax (Landmark inc.).

4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO

O pré-processamento é constituído das seguintes etapas:

- Incorporação da geometria do levantamento
- Edição de traços
- Aplicação de filtros
- Correção de amplitude.

4.1.1 Incorporação da geometria do levantamento

Cada traço sísmico possui um cabeçalho onde as informações sobre a geometria do levantamento é armazenada. Nem sempre o cabeçalho do traço contém todas as informações sobre a geometria de aquisição. Estas devem ser obtidas do relatório de campo para então o cabeçalho ser corrigido. Através dessas informações pode-se reorganizar os traços em qualquer domínio sísmico. Muitos problemas no processamento são devidos ao ajuste incorreto da geometria de campo. Embora os parâmetros do processamento sísmico sejam escolhidos meticulosamente, a qualidade da seção empilhada pode ser severamente degradada por causa de uma geometria de campo incorreta.

4.1.2 Edição de traços

Nesta etapa, traços ruidosos, traços com pulsos aleatórios e sinais monofrequência são silenciados e traços com polaridade invertida são corrigidos. Esses traços podem ser avaliados

através da inspeção direta das famílias tiro-comum com o silenciamento dos traços ruídosos ou através da estatística de traços.

A avaliação dos traços para os dados do Camamu, foi feita por inspeção direta e silenciamento dos traços ruidosos.

4.1.3 Aplicação de filtros

A energia da reflexão sísmica utilizada está usualmente confinada a uma faixa de frequência de aproximadamente 10 a 70 Hz, com frequência dominante de 30 Hz. Eventos fora de banda de frequência são considerados ruídos. Assim são aplicados filtros para a atenuação dos eventos fora da faixa de frequência de interesse. O filtro mais utilizado é o de banda-passante em que, apenas um intervalo de frequências é mantido atenuando as demais frequências do sinal.

4.1.4 Correção de amplitude

Uma função de ganho é aplicada aos dados para corrigir os efeitos da divergência esférica ou espalhamento geométrico na amplitude da frente de onda. Este efeito é quantificado pelo chamado fator de espalhamento geométrico, que avalia a perda de amplitude devido a expansão das frentes de onda ao longo de uma direção de propagação em subsuperfície. O fator de espalhamento geométrico depende do tempo de trânsito e do modelo de velocidades, sendo associado as reflexões primárias na área de interesse. Adicionalmente, uma função de ganho tipo exponencial pode ser utilizada para compensar as perdas por atenuação.

Na próxima seção é feita uma breve abordagem do processamento sísmico propriamente dito.

4.2 PROCESSAMENTO

É constituído das seguintes etapas:

- 1- Deconvolução
- 2- Análise de velocidades
- 3- Correção e empilhamento NMO
- 4- Migração

4.2.1 Deconvolução

A deconvolução comprime a wavelet básica¹ no registro do sismograma, atenua reverberações e múltiplas de curto período, aumentando assim a resolução temporal e gerando uma representação da refletividade em sub-superfície. É normalmente aplicada antes do empilhamento, entretanto, é também comum aplicar a deconvolução aos dados empilhados.

4.2.1.1 Modelo Convolutacional

Para a construção de um modelo convolutacional dos dados registrados, são considerados os seguintes pré-supostos:

- 1 - A Terra é formada por camadas planas horizontais com velocidade constante.
- 2 - A fonte que gera a onda plana compressional incide na interface refletora com ângulo normal a vertical. Dentro dessas circunstâncias, ondas cisalhantes não são geradas.
- 3 - A forma de onda da fonte não muda enquanto viaja na subsuperfície, ou seja, ela é estacionária.

O modelo convolutacional é então dado por:

$$s(t) = w(t) * e(t) + \eta(t), \quad (4.1)$$

em que: $s(t)$ é o sismograma com os dados registrados; $w(t)$ é a wavelet sísmica básica, esta tem muitos componentes que incluem a assinatura da fonte, registros do filtro de gravação², reflexões de superfície e resposta do arranjo de receptores; $e(t)$ é a resposta impulsiva da Terra, é o que seria registrado se a wavelet básica fosse um pulso. A resposta impulsiva compreende reflexões primárias (série de refletividade) e todas as possíveis múltiplas; $\eta(t)$ o ruído aleatório, tem várias fontes, como movimento dos ventos, ruído ambiental, um geofone erroneamente acoplado ao solo, etc; o símbolo * representa a operação de deconvolução .

A deconvolução é a operação de desfazer o efeito da convolução, equação (4.1), e determinação de $e(t)$. Entretanto não se pode determinar $e(t)$ a partir de (4.1), uma vez que tem-se três variáveis desconhecidas, $w(t)$, $e(t)$ e $\eta(t)$, isto nos leva ao quarto pressuposto.

- 4 - O ruído $\eta(t)$ é igual a zero.

¹Forma de onda básica

²Pré-filtro analógico usado no registro sísmico de campo, Duarte, 2003

A equação (4.1) é então reduzida a:

$$s(t) = w(t) * e(t). \quad (4.2)$$

Tem-se então um modelo convolucional para um sismograma livre de ruído.

A deconvolução compreende duas etapas:

- Determinação de um filtro inverso, $f(t)$, ao efeito convolutivo que se deseja eliminar;
- Aplicação do filtro aos dados registrados.

O filtro $f(t)$ é definido por:

$$e(t) = s(t) * f(t), \quad (4.3)$$

é obtido da relação (Ylmaz, 1987)

$$\begin{pmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \dots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & r_1 & \dots & r_{n-2} \\ r_2 & r_1 & r_0 & \dots & r_{n-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n-1} & r_{n-2} & r_{n-3} & \dots & r_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_{n-1} \end{pmatrix}, \quad (4.4)$$

em que: n , é o comprimento do filtro; $r_1, r_2, r_3, \dots, r_{n-1}$, é a autocorrelação da wavelet básica; $(g_1, g_2, g_3, \dots, g_{n-1})$, é a correlação cruzada da saída desejada³ e da wavelet básica e $(a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-1})$, são os coeficientes do filtro.

Para a determinação dos coeficientes do filtro é necessário o conhecimento da wavelet básica. Isso leva a dois diferentes pressupostos o que determina dois tipos de deconvolução: a deconvolução determinística e a deconvolução estatística.

Na deconvolução determinística, são considerados os pré-supostos de 1-4 e ainda:

- 5 - A forma de onda da fonte é conhecida.

Dessa forma a equação 4.2 se reduz a apenas uma variável desconhecida e o filtro $f(t)$ pode ser determinado diretamente da inversão de $w(t)$ ou através de mínimos quadrados.

Na deconvolução estatística, são considerados os pré-supostos de 1-4 e ainda:

³resultado que se deseja obter no sismograma registrado

6 - A refletividade é um processo aleatório. Isto implica que a autocorrelação e o espectro de amplitude da wavelet sísmica é similar a autocorrelação e o espectro de amplitude do sismograma.

Por fim, o sétimo pré-suposto,

7 - A wavelet sísmica é de fase mínima. Assim ela tem uma fase mínima inversa.

Dessa forma, o filtro $f(t)$ em 4.4 pode ser determinado utilizando a teoria de Wiener (YILMAZ, 1987).

Ainda de acordo com 4.4, tem-se que, a matriz formada pelos g_i resultante da correlação cruzada da saída desejada e agora com o sismograma, cinco escolhas para a saída podem ser feitas:

- 1 - Pulso de lag⁴ zero
- 2 - Pulso com lag arbitrário
- 3 - Avanço no tempo da série de entrada
- 4 - Wavelet de fase zero
- 5 - Qualquer forma desejada

Quando a saída desejada é o item (1), tem-se a deconvolução impulsiva. Quando a saída desejada é o item (3) tem-se a deconvolução preditiva e quando a saída desejada é o item (5), tem-se a chamada deconvolução de conformação. Os tipos (2) e (4) são casos particulares da deconvolução de conformação. Neste trabalho foram aplicadas as deconvoluções impulsiva, que tem por objetivo o aumento da resolução temporal do traço sísmico, e a deconvolução preditiva, que tem por objetivo a supressão de múltiplas .

A deconvolução impulsiva foi aplicada aos dados pré-empilhamento após o pré-processamento, enquanto que, a deconvolução preditiva foi aplicada aos dados migrados.

⁴Em português: deslocamento

4.2.2 Análise de velocidade

A velocidade NMO é diferente da velocidade de empilhamento. Esta é dada pelo o valor ótimo que permite o empilhamento dos traços em uma família CMP. A forma hiperbólica é usada para definir a melhor trajetória de empilhamento T_{stk} como

$$t_{stk}^2(x) = t_{stk}^2(0) + \frac{x^2}{v_{stk}^2}, \quad (4.5)$$

em que v_{stk} é a velocidade que permite o melhor ajuste da trajetória do tempo de trânsito de uma família CMP e uma hipérbole dentro do comprimento do lança. Na hipérbole de empilhamento ótima descrita pela equação (4.5) não é necessário pequena abertura como na hipérbole dada na equação 4.6.

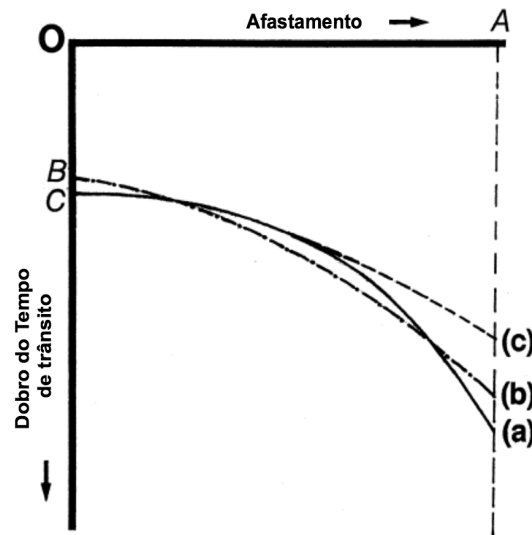


Figura 4.1: A equação da velocidade NMO é determinada considerando a hipérbole para pequenas aberturas (equação (4.6)). Por outro á, a velocidade de empilhamento é derivada da hipérbole de melhor ajuste sobre o comprimento do lança (equação (4.5)). (a) é o atual tempo de trânsito. (b) a hipérbole de melhor ajuste sobre o afastamento de tamanho OA. (c) é a hipérbole para pequenas aberturas (adaptado de (HUBRAL; KREY, 1980)).

Quanto menor comprimento do lança, mais próximo a hipérbole de empilhamento ótima e a hipérbole para pequena abertura e menor é a diferença entre as velocidades v_{nmo} e v_{stk} . Na prática a velocidade de empilhamento e tempo de afastamento nulo associamos a hipérbole de empilhamento ótima descrita na equação (4.5) é em geral associada a velocidade NMO e ao tempo de afastamento nulo associados a hipérbole para pequenas aberturas dada pela equação (4.6).

O sobretempo normal é a base para a determinação das velocidades a partir dos dados sísmicos. As velocidades calculadas podem, por sua vez, ser usadas para a correção do NMO de modo que as reflexões sejam alinhadas nos traços de uma família CMP antes do empilhamento. Da Equação (4.5), pode-se desenvolver uma maneira prática de determinar a velocidade de empilhamento de um família CMP dada por:

- Painéis de velocidade constante;
- Empilhamentos de velocidade constante;
- Análise do espectro da velocidade.

Painéis de velocidade constante

Segundo esta técnica, uma família CMP é repetidamente corrigida de NMO (horizontalizada) usando uma série de valores de velocidades V_{stk} . As famílias corrigidas de NMO são dispostas lado-a-lado num painel. A idéia é ver qual é a velocidade que melhor horizontaliza cada evento na família considerada.

Empilhamentos de velocidade constante

Consiste em aplicar uma série de velocidades constantes, V_{stk} , no empilhamento de uma parte dos dados. Os resultados (empilhamentos) produzidos por cada velocidade são mostrados lado-a-lado. As velocidades de empilhamento são estimadas com base na amplitude e na continuidade do evento empilhado, a saber, e escolhida a velocidade que produz a melhor resposta do empilhamento para um evento selecionado.

Espectro da velocidade

Obtem-se o espectro de velocidade quando os resultados do empilhamento para uma intervalo de velocidades são dispostos num painel para cada uma das velocidade, cada empilhamento ao lado do outro. Nesta disposição, têm-se no eixo horizontal a velocidade e no eixo vertical o tempo de trânsito. Geralmente se utiliza este método em softwares interativos para a determinação de velocidades.

A Figura 4.2 mostra para uma família CMP, a escolha das velocidades RMS, ainda na mesma figura são mostrados painéis de velocidade constante, empilhamentos de velocidade constante e o espectro de velocidades.

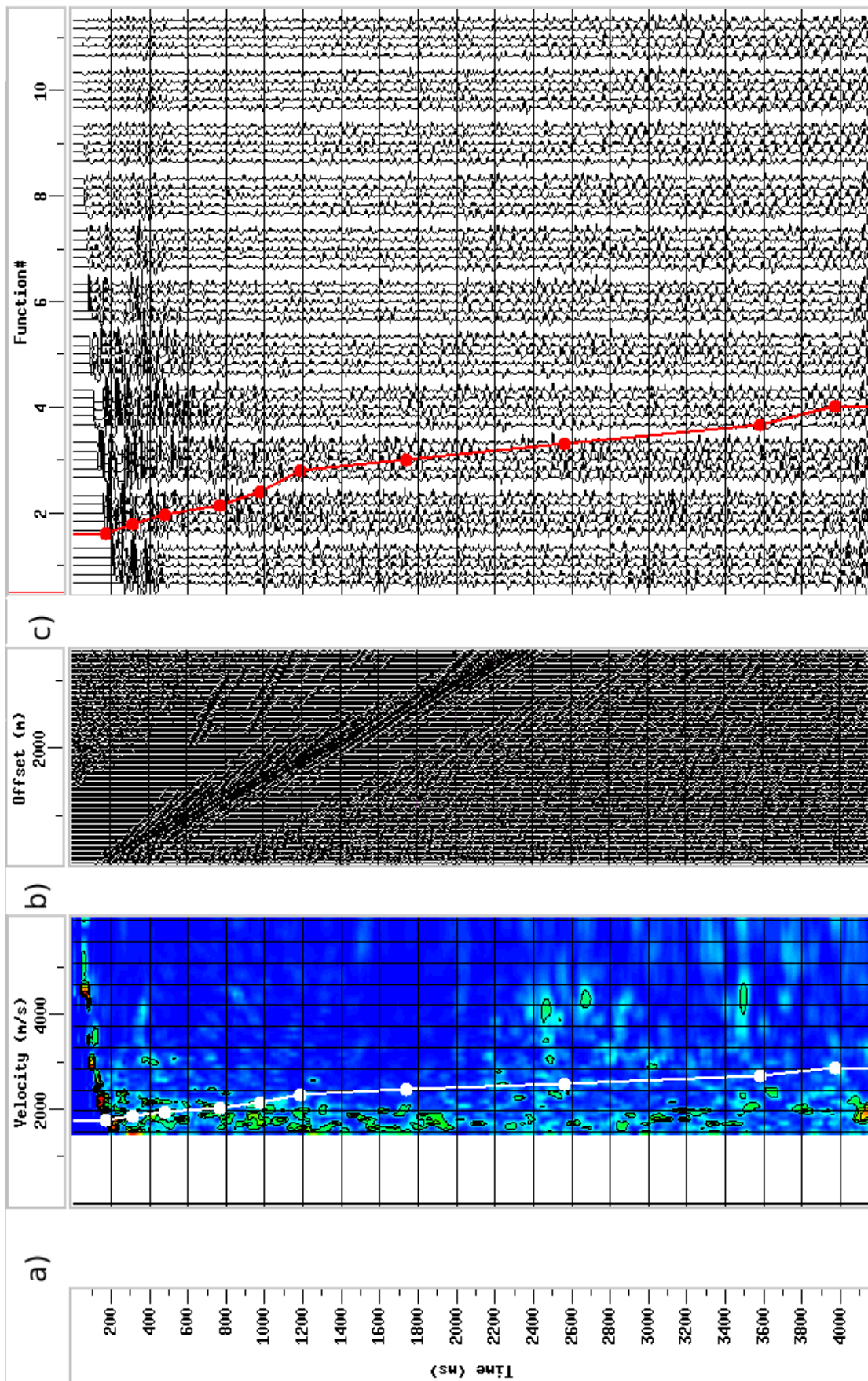


Figura 4.2: Painel do CDP 61 para a marcação das velocidades para aplicação da correção e empilhamento NMO da linha 19 do Camamu. (a) Espectro de Velocidade; (b) Painéis de velocidade constante (CVP); (c) Empilhamentos de velocidade constante (CVS).

4.2.3 Correção e empilhamento NMO

Para uma única camada horizontal de velocidade constante, Figura 4.3(a), a curva de tempo de trânsito em função do afastamento fonte-receptor é uma hipérbole dada por Yilmaz, 1987:

$$t(x)^2 = t(0)^2 + \left(\frac{x}{v}\right)^2, \quad (4.6)$$

em que x é o afastamento, $t(0)$, é dobro do tempo para o afastamento nulo (tempo de trânsito ao longo da vertical MD) e v , é a velocidade do meio acima do refletor. Conhecidos o afastamento, x é o dobro dos tempos de trânsito t e t_0 , a velocidade v pode ser calculada.

É importante notar que a projeção vertical do ponto em profundidade D ao longo da normal ao refletor coincide com o ponto médio M, isto acontece somente porque, o refletor é horizontal. Para esse refletor, os traços sísmicos organizados em CMP são equivalentes aos traços organizados em CDP. Na Figura 4.3(b), são mostrados os traços sísmicos para uma família CMP (CDP). As trajetórias associadas com cada par fonte-receptor são refletidas no mesmo ponto em subsuperfície de profundidade D.

A diferença entre o tempo de trânsito em um dado afastamento e aquele no afastamento-nulo é chamada de Sobretempo Normal (NMO). A velocidade requerida para corrigir o sobretempo normal é denominada velocidade NMO (v_{NMO}). Estimada a velocidade NMO, o tempo de trânsito pode ser corrigido removendo o efeito do afastamento⁵, Figura 4.4.

⁵efeito NMO

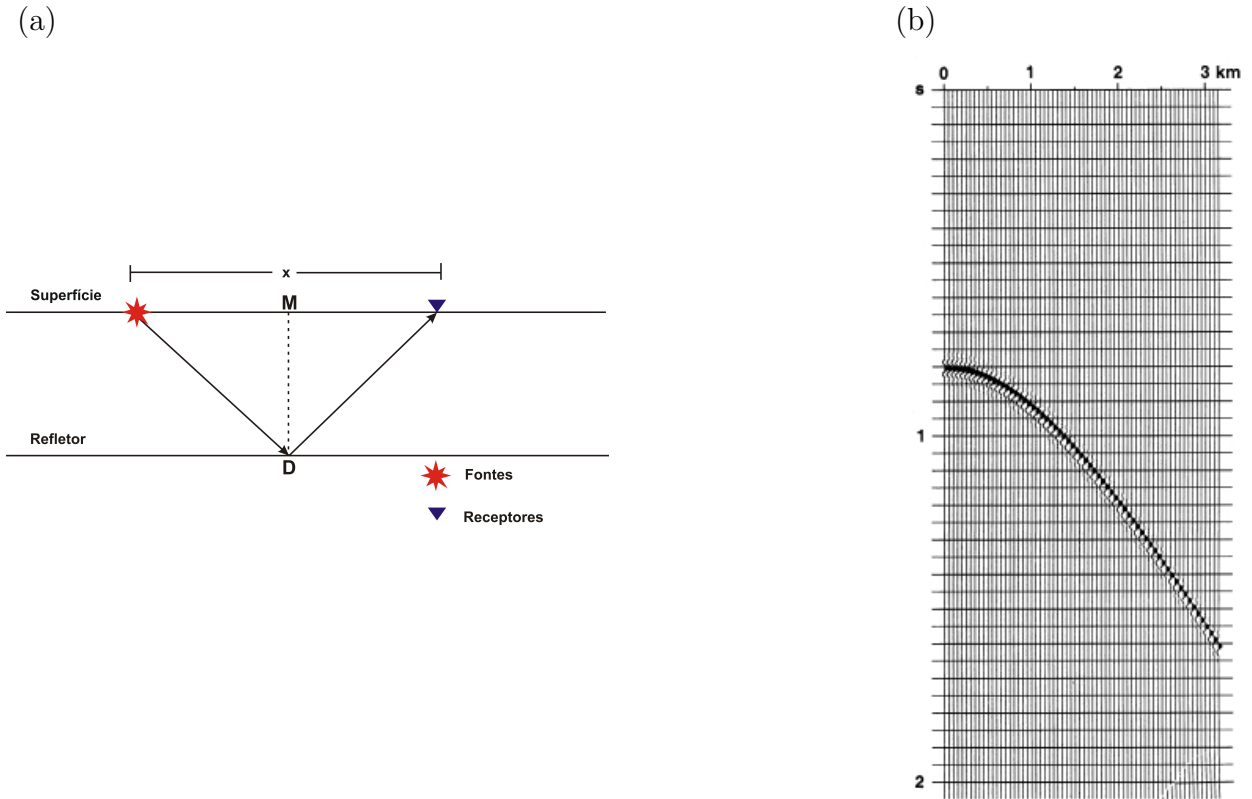


Figura 4.3: (a) Geometria NMO para um refletor plano horizontal. O tempo de trânsito é descrito pela equação 4.6. (b) Família CMP associada com a geometria da (a). A curva de tempo de trânsito para o refletor plano é uma hipérbole com seu ápice no traço de afastamento nulo.

Os traços de um CMP já corrigidos do efeito NMO são somados (empilhados) para a obtenção de um único traço localizado neste CMP. A correção é dada por $\Delta t_{NMO} = t - t_0$, ou ainda:

$$\Delta t_{NMO} = t_0 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{x}{v_{NMO}} \right)^2} - 1 \right] \quad (4.7)$$

Para um refletor plano cujo meio acima é homogêneo, a hipérbole de reflexão pode ser corrigida do efeito do afastamento, se a velocidade do meio for usada na equação (4.7). Se a velocidade utilizada em (4.7) é menor que a velocidade do meio, a hipérbole não é horizontalizada completamente é gerada a *sobrecorreção* (Figura 4.5(c)). Se no entanto, a velocidade utilizada em (4.7) é maior que a velocidade do meio, então a hipérbole não é horizontalizada completamente e é gerada *subcorreção*, Figura 4.5(d). Na Figura 4.5(b), é mostrada a velocidade ótima aplicada em (4.7) e a hipérbole é horizontalizada completamente.

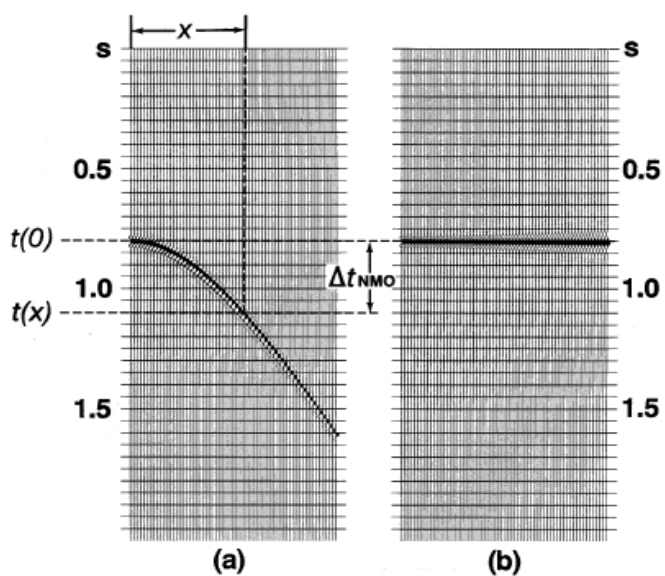


Figura 4.4: Família CMP com aplicação da correção NMO.

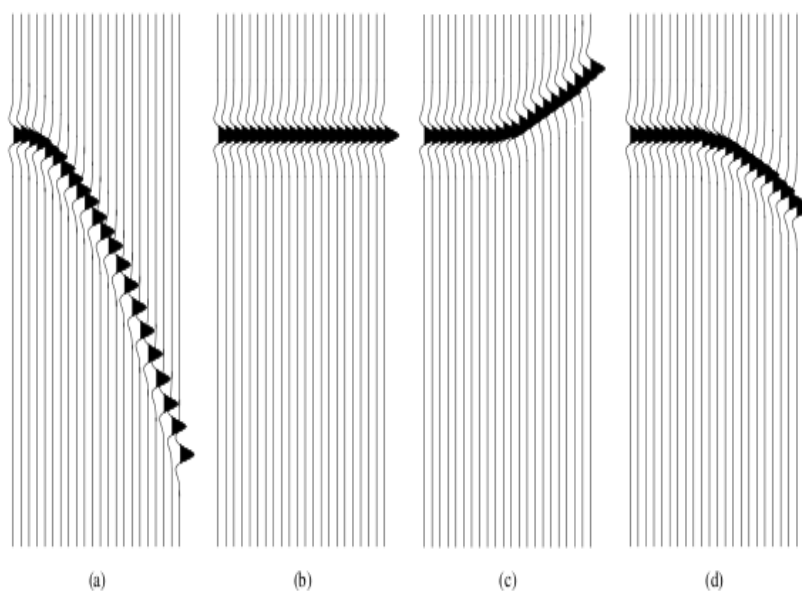


Figura 4.5: (a) Família CMP contendo um único evento. (b) Mesma família já aplicada a correção NMO, usando a velocidade NMO ótima. (c) Sobrecorreção devido a utilização da velocidade NMO menor que a velocidade do meio acima do refletor. (d) Subcorreção devido a utilização da velocidade NMO maior que a velocidade do meio acima do refletor

Como um resultado da correção NMO, ocorre uma distorção da frequência, particularmente para eventos rasos e grandes afastamentos. Este fenômeno é chamado de *estiramento*

NMO, (ver Figura 4.6). A forma de onda com um período dominante T é estirado tal que seu período T_0 , após a correção NMO, tal que $T_0 > T$. O estiramento é uma distorção na frequência no qual os eventos são deslocados para baixas frequências. Este problema pode ser resolvido através do silenciamento da área estirada. Um silenciamento automático pode ser realizado usando a definição de estiramento dada pela Equação (4.8).

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta t_{NMO}}{t_0} \quad (4.8)$$

em que: f é a frequência dominante, Δf é a mudança da frequência e Δt_{NMO} é o tempo NMO.

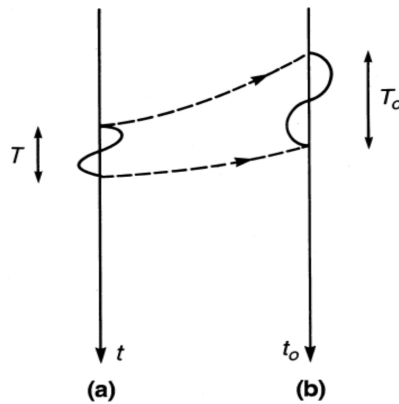


Figura 4.6: Um sinal com período T (a) é estirado para um sinal (b) de período $T_0 > T$ após a correção NMO.

Para um meio estratificado formado por camadas planas horizontais e pré-supondo pequenas aberturas e pequenos ângulos, a velocidade necessária para a correção NMO é a velocidade RMS, que é dada por:

$$v_{rms}^2 = \frac{1}{t_0} \sum_{i=1}^n v_i^2 \Delta t_i, \quad (4.9)$$

em que Δt_i é o tempo de trânsito na i -ésima camada e $t_0 = 1 / \sum_{i=1}^n \Delta t_i$, v_i é a velocidade da i -ésima cama do meio, n é o número de camadas.

4.2.4 Migração

Em uma seção sísmica em tempo não migrada os refletores não representam a geometria real da sub-superfície, Figuras 4.7 (a) á (c). Na Figura 4.7 (a), um sinclinal, cujo centro de curvatura situa-se abaixo da superfície, no assoalho oceânico é imageado como um “bow-tie”⁶. Na Figura 4.7 (b), a adição de difrações do final do refletor resulta em uma seção em tempo complexa e na Figura 4.7 (c), um refletor inclinado esta mais raso em uma seção em tempo.

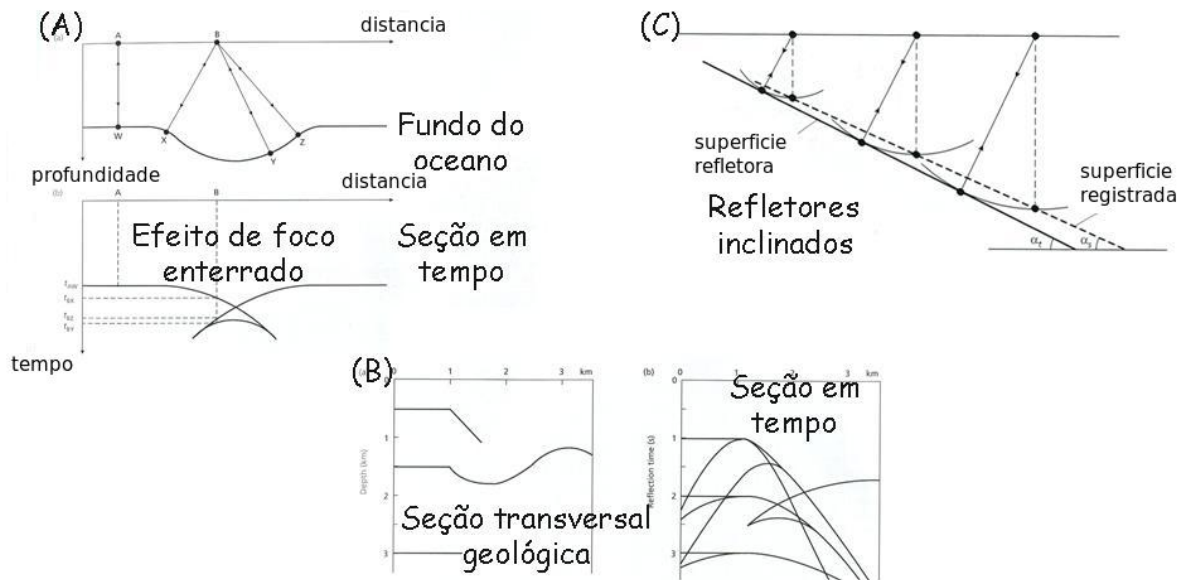


Figura 4.7: Figura com exemplos de seções sísmicas que não representam a geometria real da sub-superfície. Em (a), um sinclinal, cujo centro de curvatura situa-se abaixo da superfície, no assoalho oceânico é imageado como um “bow-tie”. Em (b), a adição de difrações do final do refletor resulta em uma seção em tempo complexa e em (c), um refletor inclinado esta mais raso em uma seção em tempo.

A migração tem por objetivos: a retirada de artefatos na seção em tempo empilhada devido a geologia da sub-superfície, localizar refletores na posição correta e colapsar as di-

⁶foco enterrado

frações.

A migração pode ser aplicada aos dados pré- e pós-empilhamento. Neste trabalho a migração foi aplicada aos dados pós-empilhamento. Neste tipo de migração, os dados devem estar empilhados (organizados em afastamento nulo). O modelo matemático das migrações pós-empilhamento é baseado no modelo de refletor explosivo, ver Figura 4.8. Neste modelo, as fontes explosivas estão localizadas ao longo da interface refletora (LOEWENTHAL D.; SHERWOOD, 1976) e os receptores localizados na superfície para cada CMP. As fontes explosivas são acionadas conjuntamente e as ondas são propagadas até a superfície e registradas pelos receptores.

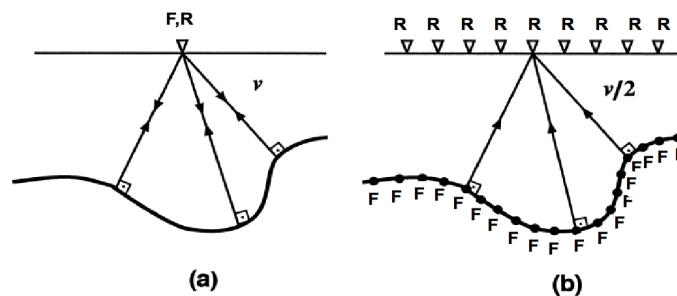


Figura 4.8: Geometria de registro de afastamento nulo (a) e uma simulação hipotética do experimento de afastamento nulo usando refletores explosivos (b) (Claerbout, 1978).

O tempo de trânsito gerado neste modelo é equivalente a seção empilhada com uma importante observação: na seção empilhada é registrado o tempo de trânsito duplo (que vai da fonte ao ponto de reflexão e em seguida ao receptor), enquanto que, no modelo de refletor explosivo é registrado o tempo de trânsito simples (do ponto de reflexão onde a fonte está localizada ao receptor). Para tornar as seções compatíveis, pode-se imaginar que a velocidade de propagação no modelo do refletor explosivo é a metade do valor da velocidade real. Esta equivalência entre as seções empilhadas e a do modelo de refletor explosivo não é exata, particularmente em presença de fortes variações laterais (KJARTANSSON; ROCCA, 1979).

Quanto ao tipo, a migração pode ser:

- 2D versus 3D
- Em tempo versus profundidade
- Pós-empilhamento versus pré-empilhamento

Quanto a metodologia a migração pode ser:

- Baseada na solução integral da equação de onda escalar, a migração de kirchhoff é um exemplo.
- Baseada na solução por diferenças finitas. São exemplos a migração por diferenças finitas e migração reversa. no tempo
- Baseada na frequência–número de onda (F-K). São exemplos, a migração Stolt e de Gazdag (método da phase-shift).

O tipo de migração mais utilizado é a migração 2D/3D pós-empilhamento no domínio do tempo, por ser menos sensível a erros de velocidade, ser máis rápida quando comparada com a migração em profundidade, além de gerar resultados razoáveis para a interpretação. Neste trabalho foi aplicada a migração de Kirchhoff 2D pós-empilhamento em tempo.

5 ATENUAÇÃO DE MÚLTIPLAS

Reflexões múltiplas podem ser definidas como eventos sísmico que sofreram mais de uma reflexão ascendente, setas em azul na (Figura 5.1 (a)). A energia das múltiplas resulta do contraste de impedância entre as interfaces, quanto maior for esse contraste mais múltiplas são geradas. Em ambientes de aquisição sísmica marinha, são definidas as que múltiplas relacionadas a superfície livre como aquelas que possuem pelo menos uma reflexão descendente, seta em azul na Figura (Figura 5.1 (b)), na superfície livre entre duas reflexões ascendentes.

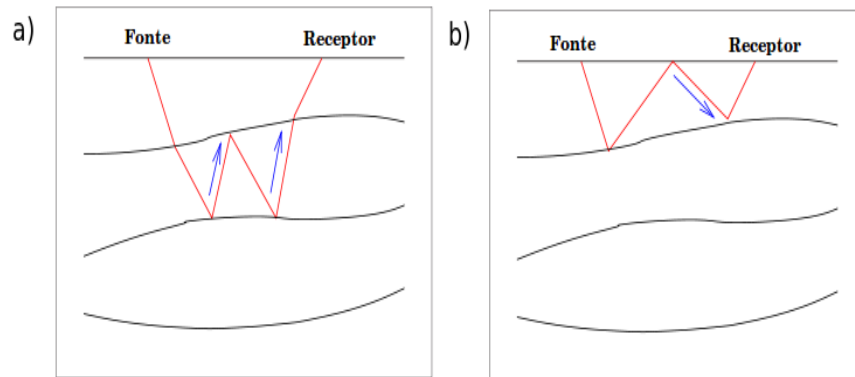


Figura 5.1: (a) Evento sísmico com duas reflexões ascendentes, setas em azul e (b) uma reflexão descendente, seta em azul, na superfície livre.

Atualmente, os métodos de eliminação de múltiplas dividem-se em dois grupos principais: filtragem e predição/subtração. O primeiro método explora as diferentes características entre as primárias e as múltiplas que as discriminem e elimina as múltiplas por meio de alguma filtragem. O segundo método simula a múltipla a partir de um modelo ou dos próprios dados sísmicos e a elimina.

Os métodos que envolvem a predição/subtração da múltipla surgiram a partir da década de 80. Esses métodos partem de um modelo em profundidade ou do próprio dado sísmico. Um problema comum a esses métodos é a estimativa da assinatura da fonte para determinação das amplitudes das múltiplas, isto é geralmente contornado pela aplicação de um filtro adaptativo das amplitudes.

5.1 CLASSIFICAÇÃO

Apesar de existirem em levantamentos terrestre e marinho, as reflexões múltiplas são mais intensas e problemáticas nas aquisições marinhas devido aos grandes contrastes de velocidade causado pelo contraste entre a lâmina de água e o fundo do mar.

As múltiplas possuem diversas formas de classificação, algumas dessas formas são:

- o tempo de trânsito;
- a ordem;
- as interfaces de reflexão.

Tempo de Trânsito

Nesta classificação as múltiplas podem possuir períodos curto, médio ou longo:

- **Curto Período:** são eventos nos quais o intervalo de repetição é somente poucas vezes maior que o comprimento do pulso sísmico gerado pela fonte. As múltiplas de curto período possuem comportamento periódico e não podem ser separadas das primárias que as geraram.
- **Longo Período:** são eventos onde há um grande intervalo de repetição. As múltiplas de longo período podem ser separadas das primárias que as geraram.
- **Médio Período:** são as reflexões múltiplas que possuem uma periodicidade intermediária as duas anteriores.

Ordem

Esta classificação é feita de acordo com o número de reverberações em uma determinada camada. Nas Figuras (5.2 e 5.3) são ilustradas múltiplas de superfície de primeira e segunda ordem, por exemplo.

Interfaces de Reflexão

A forma das reflexões múltiplas está relacionada a quantidade de energia que a mesma possui e entre quais camadas essa energia está agindo. As múltiplas também podem ser classificadas de acordo com as interfaces onde as reflexões ocorreram.

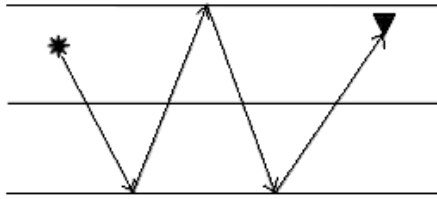


Figura 5.2: Múltipla de superfície de primeira ordem.

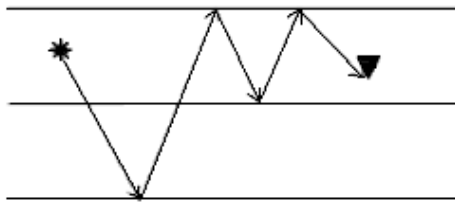


Figura 5.3: Múltipla de superfície de segunda ordem.

- Múltiplas relacionadas a superfície ou múltiplas relacionadas a superfície-livre: são aquelas que possuem pelo menos uma reflexão na lâmina de água. Verifica-se que se a superfície livre, interface ar-água, for considerada "transparente", estas múltiplas desaparecem.
- Múltiplas Internas: são as múltiplas geradas quando a energia da onda é aprisionada em alguma camada intermediária durante a sua propagação. Caso as camadas em subsuperfície sejam bem finas as múltiplas internas geradas possuirão períodos bem curtos, caso seja contrário a isto, as múltiplas possuirão períodos longos.

5.2 TÉCNICAS DE ATENUAÇÃO DE MÚLTIPLAS

As técnicas de atenuação de múltiplas estão divididas em dois métodos, Verschuur,2006:

- Baseados na diferença do comportamento espacial entre primárias e múltiplas.
- Baseados na periodicidade e predição.

Os métodos da primeira categoria são baseados no fato de que as múltiplas viajam ao longo de uma trajetória diferente e assim tem diferentes velocidades sísmicas. Assim técnicas

de filtragem são aplicadas para separar as múltiplas das primárias, baseadas em um conhecimento a priori na interpretação de quem está fazendo o processamento.

Estas técnicas de filtragem podem ser aplicadas no domínio pré-empilhamento, isto é, pela diferenciação do moveout no domínio do ponto médio comum (CMP), ou no domínio pós-empilhamento, pela discriminação das diferenças na inclinação local entre múltiplas e primárias.

Nos métodos da segunda categoria, o fato de que primárias e múltiplas tem uma relação inerente é explorado. De uma maneira simples, as múltiplas são definidas como eventos que aparecem em uma trajetória extritamente repetitiva. Pelo pré-suposto estatístico, essa trajetória repetitiva pode ser suprimida.

Primeiramente as múltiplas são preditas e em seguida elas são subtraídas do dado inicial. Para ambos os passos de predição e de subtração pré-supostos são feitos, Verschuur,2006.

Estas técnicas são em princípio aplicadas no domínio pré-empilhamento, mas fazendo alguns considerações extras, em geral que a terra se comporta como um modelo 1D, esses métodos podem ser aplicados no domínio pós-empilhamento ou no estágio pós-migração.

Neste trabalho, as múltiplas de superfície livre foram tratados com técnicas baseadas nos dois métodos acima. Considerando a primeira categoria (diferente comportamento espacial entre primárias e múltiplas) foi utilizado filtro radon. Considerando a segunda categoria (periódicidade e predição da múltipla) foi utilizado o SRME. Na seção é apresentado uma breve descrição dessas técnicas.

5.2.1 Filtro Radon

O nome é uma homenagem ao matemático Johann Radon. Em 1917, Johann Radon, implementou fundamentos matemáticos para reconstruir imagens tomográficas de um objeto através das projeções do mesmo (DUARTE, 1992).

Esta técnica utiliza a transformada de Radon e modela as múltiplas e as subtraem dos dados sísmicos iniciais. Os dados que estão no espaço tempo versus sobretempo¹ tal que, a energia de eventos primários possa ser eliminada através de um silenciamento apropriado. Todo o restante é energia de eventos de múltiplas, estes são então subtraídos dos dados sísmicos iniciais.

¹tempo adicional que uma reflexão sísmica gerada com receptor afastado da fonte apresenta, comparado com o tempo que esta mesma reflexão teria se a fonte e o receptor estivessem no mesmo ponto.

A decomposição do sinal em ondas planas e nos particulares tempo de chegada para $x = 0$ é possível quando transformamos dados sísmicos do domínio T-X para o domínio $\tau - p$ (tempo de interseção-parâmetro do raio) por meio do *slant stack*. Isto é feito somando as contribuições da família CMP ao longo de trajetórias lineares de sobretempo (retas tangentes as curvas t-x, cuja inclinação é $1/v$). Assim, cada raio é descrito segundo o tempo de interseção, τ , e o parâmetro de raio, p, sendo

$$\tau = T - pX, \quad (5.1)$$

e

$$p = \frac{dt}{dx} = \frac{k_x}{w} = \frac{1}{v}, \quad (5.2)$$

em que k_x é o número de onda horizontal e w é a frequência angular.

Considerando um modelo de camadas horizontais, o parâmetro do raio é o mesmo para um mesmo trem de múltiplas reverberadas. Portanto, no domínio $\tau - p$ fica mais fácil prever o pulso múltiplo. O tempo de trânsito de uma múltipla de ordem n no domínio T-X é

$$t_n^2 = \frac{x^2}{v^2} + nt_0^2, \quad (5.3)$$

enquanto que no domínio $\tau - p$, tem-se

$$\tau_n^2 = (1 - p^2v^2)n^2\tau_0^2, \quad (5.4)$$

No domínio $\tau - p$, a diferença de tempo entre duas múltiplas de ordens sucessivas é constante:

$$\tau_n - \tau_{n-1} = (1 - p^2v^2)^{\frac{1}{2}}\tau_0, \quad (5.5)$$

Já no domínio T-X isso não ocorre e a relação obtida é mais complexa.

Segundo (STOFFA, 1984) e conforme a equação 5.5, as múltiplas reverberadas são harmônicas no domínio $\tau - p$ (Figura 5.4). ALAM e AUSTIN (1981) explorando esta periodicidade, sugeriram a transformação dos dados sísmicos para o domínio $\tau - p$, para nele melhor atenuar as reflexões múltiplas por meio de um silenciamento.

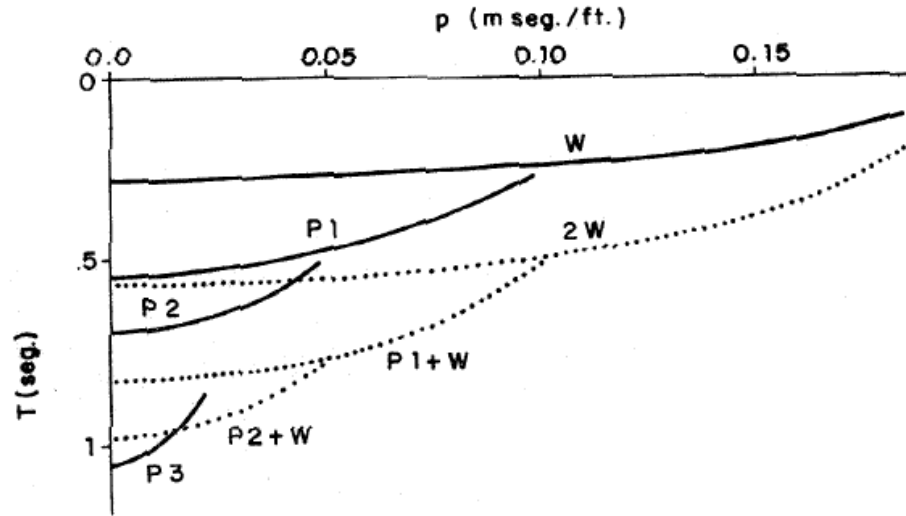


Figura 5.4: Sismograma esquemático no domínio $\tau - p$ mostrando múltiplas reverberadas, em que w é a reflexão no fundo do mar. P é uma primária.

A forma parabólica da transformada de Radon é usada para múltiplas que tem sobre-tempo aproximadamente parabólicos após a correção NMO. Uma hiperbólica também pode ser usada. Esta aproximação hiperbólica tem maior acurácia para tempos entorno de afastamentos iguais a profundidade. A aplicação do filtro Radon depende das velocidades RMS escolhidas, uma vez que o mesmo baseia-se no presuposto que eventos horizontalizados após a correção NMO são múltiplas.

5.2.2 Método de eliminação de reflexões múltiplas relacionadas a superfície (SRME)

O SRME surgiu em 1967 quando ANSTEY e NEWMAN observaram que as múltiplas de superfície livre podiam ser geradas de convoluções de reflexões primárias com outros traços, gerando então múltiplas modeladas que podiam ser subtraídas dos dados sísmicos. Esse método assume que as reflexões primárias possuem um *Moveout* equivalente a uma viagem de ida e volta da onda pela camada d'água, e para o trajetórias acima desta, o campo de onda está relacionado a múltiplas ou outros tipos de ruídos, como fontes e receptores fantasma.

Conhecendo o campo de onda na superfície, é possível simular o comportamento deste campo em outras profundidades do modelo. Este é o princípio do método de previsão das múltiplas. As reflexões primárias e múltiplas do dado inicial são extrapoladas, isto é, são deslocadas em tempo as suas posições. Neste processo, as primárias transformam-se em múltiplas da superfície livre de primeira ordem, pois as extrapolações adicionam uma viagem

a mais para estas ondas na primeira camada (VERSCHUUR e KABIR, 1992).

Este método apresenta melhor eficiência que outros métodos quando aplicados em situações onde múltiplas e primárias apresentam pequenas velocidades ou onde é difícil a separação entre elas, quando essas velocidades se encontrarem próximas. Este método também apresenta melhor desempenho que outros quando aplicado a meios geológicos complexos. Em situações onde temos forte refletores abaixo da interface terra/água, ou onde os alvos se encontram com o tempo acima de 2s (profundos), este método pode ser melhor aplicado. O conjunto de equações que descrevem todo o processo foi proposto por (VERSCHUUR e KABIR, 1992).

Adotaremos uma notação matriz para apresentar a descrição matemática do método, onde as matrizes serão indicada pelas letras maiúsculas em negrito. Neste método os tiros registrado são transformados para o domínio da frequência.

Para um meio acústico sem múltiplas de superfície livre, temos que:

$$\mathbf{P}_0^-(z_o) = \mathbf{X}_0(z_o)\mathbf{S}^+(z_o) \quad (5.6)$$

é a equação que descreve um campo de pressão medido nos receptores. Sendo que, $\mathbf{P}_0^-(z_o)$ a matriz campo de pressão; $\mathbf{X}_0(z_o)$ a matriz resposta da subsuperfície; \mathbf{S}^+ a assinatura da fonte; a referência z_o indica que que o dado é em função da profundidade.

Considerando que, $\mathbf{X}_0(z_o)$ contém tanto ondas *Ascendentes*² quanto ondas *Descendentes*³, e considerando também o fato de que as ondas ascendentes refletem na superfície livre e transformam-se em ondas descendente, o total do campo de onda descendente não consiste apenas nas ondas provenientes da fonte \mathbf{S}^+ , como também destas ondas transformadas pela superfície livre, o que modifica a Eq. 5.6 para:

$$\mathbf{P}^-(z_o) = \mathbf{X}_0(z_o) \left[\mathbf{S}^+ + \mathbf{R}^-(z_o)\mathbf{P}^-(z_o) \right] \quad (5.7)$$

Sendo $\mathbf{P}^-(z_o)$ definido como o total do campo de ondas ascendentes na superfície z_o , e $\mathbf{R}^-(z_o)$ sendo a matriz refletividade da superfície livre, Note que a Eq. 5.7 é a equação para múltiplas implícitas. A expressão explícita para o total de ondas ascendentes do campo de onda na superfície inclusive múltiplas de superfície livre pode ser derivada da Eq. 5.7.

²Ondas *Upgoing*, indicadas pelo simbolo negativo (-).

³Ondas *Downgoing*, indicadas pelo simbolo positivo (+).

$$\mathbf{P}^-(z_0) = \mathbf{X}_0(z_0)\mathbf{S}^+[\mathbf{I} - \mathbf{X}_0(z_0)\mathbf{R}^-(z_0)]^{-1} \quad (5.8)$$

Pela definição $\mathbf{X}(z_0)$ é a resposta da subsuperfície incluindo reflexões múltiplas relacionadas à superfície livre e \mathbf{I} é a matriz identidade, sendo então:

$$\mathbf{P}^-_0(z_0) = \mathbf{X}(z_0)\mathbf{S}^+ \quad (5.9)$$

com

$$\mathbf{X}(z_0) = \mathbf{X}_0(z_0)[\mathbf{I} - \mathbf{X}_0(z_0)\mathbf{R}^-(z_0)]^{-1} \quad (5.10)$$

A matriz inversa na Eq. 5.8 pode ser expandida em uma série, o que resulta em:

$$\mathbf{P}^-(z_0) = \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} [\mathbf{X}_0(z_0)\mathbf{R}^-(z_0)]^n \right\} \mathbf{X}_0(z_0)\mathbf{S}^+(z_0) \quad (5.11)$$

Comparando a Eq. 5.11 com Eq. 5.6, verificamos que os termos extras na Eq. 5.11 estão relacionados a todas múltiplas de superfície livre. Para a pressão acústica na superfície livre (caso marinho), a refletividade matriz $\mathbf{R}^-(z_0)$ é simplificada para:

$$\mathbf{R}^-(z_0) = r_0\mathbf{I} \quad (5.12)$$

em que idealmente $r_0 = -1$ é o valor próximo coeficiente de reflexão da interface água/ar. Tomando a matriz de reflexão como uma matriz unitária, se exige que fonte e receptor estejam localizados em um gride equidistante.

Utilizando a Eq. 5.12, a Eq. 5.8 é simplificada para:

$$\mathbf{P}^-(z_0) = \mathbf{X}_0(z_0)\mathbf{S}^+[\mathbf{I} - r_0\mathbf{X}_0(z_0)]^{-1} \quad (5.13)$$

$$\mathbf{X}_0(z_0) = \mathbf{X}(z_0) \left[\mathbf{I} - \left\{ \mathbf{R}^-_0(z_0)\mathbf{X}(z_0) \right\} + \left\{ \mathbf{R}^-_0(z_0)\mathbf{X}(z_0) \right\}^2 - \left\{ \mathbf{R}^-_0(z_0)\mathbf{X}(z_0) \right\}^3 + \dots \right]. \quad (5.14)$$

Tomando apenas um número limitado de termos em conta na Equação 5.14, estabiliza-se a inversão. O número de termos que deve se levar em conta depende da ordem das reflexões múltiplas relacionada á superfície, porque cada termo adicional tomado em conta na equação resulta em eliminar múltiplas relacionadas à superfície livre de ordem mais alta.

Usando a Eq. 5.12 na Eq. 5.14, tornamos:

$$\mathbf{X}_0(z_0) = \mathbf{X}(z_0) - r_0\mathbf{X}(z_0)^2 + r_0^2\mathbf{X}(z_0)^3 - r_0^3\mathbf{X}(z_0)^4 + \dots \quad (5.15)$$

Nas equações 5.14 e 5.15 não modelamos a subsuperfície. Apenas os dados sísmicos para a fonte do campo de onda, isto é, determinamos $\mathbf{X}(z_0)$, a propriedade de refletividade da superfície livres e o escalar r_0 . São determinados os dados que contêm toda informação necessária sobre a subsuperfície para predizer as múltiplas.

Substituindo as Eq. 5.6 e 5.9 na Eq. 5.15, temos:

$$\mathbf{P}_0^-(z_0) = \mathbf{P}^-(z_0) - r_0[\mathbf{P}^-(z_0)\mathbf{S}^+(z_0)^{-1}]\mathbf{P}^-(z_0) + r_0^2[\mathbf{P}^-(z_0)\mathbf{S}^+(z_0)^{-1}]^2\mathbf{P}^-(z_0) - r_0^3\{\mathbf{P}^-(z_0)\mathbf{S}^+(z_0)^{-1}\}^3\mathbf{P}^-(z_0) + \dots \quad (5.16)$$

Assume-se para o momento que a fonte do campo de onda pode ser escrito como:

$$\mathbf{S}^+(z_0) = S(\omega)\mathbf{I} \quad (5.17)$$

com $S(\omega)$ sendo a frequência dependente da assinatura da fonte. Isso significa que a suposição é feita para um ângulo que depende da deconvolução para a fonte, e que as fontes residuais consistem de idênticos pontos fontes cada uma com assinatura $S(\omega)$. Note que uma fonte diagonal da matriz é definida na Equação 5.17, o que implica na pressão de fonte dipolar.

Utilizando as Eq. 5.16 e 5.17,

$$\mathbf{P}_0^-(z_0) = \mathbf{P}^-(z_0) - A(\omega)[\mathbf{P}^-(z_0)]^2 + A(\omega)^2[\mathbf{P}^-(z_0)]^3 - A(\omega)^3[\mathbf{P}^-(z_0)]^4 + \dots \quad (5.18)$$

onde,

$$A(\omega) = \frac{r_0}{S(\omega)} \quad (5.19)$$

Utilizamos a Eq. 5.18 para eliminação de múltiplas de simples componente⁴. Note que na referida equação, o primeiro termo $\mathbf{P}^-(z_0)$ não é afetado por $A(\omega)$. Isto significa que as primárias são preservadas durante o procedimento de otimização. Depois de otimizada a função $A(\omega)$ é estimada, e pode ser usada para deconvolver os dados primários.

Na Eq. 5.18, cada termo depois do primeiro termo $\mathbf{P}^-(z_0)$ é relativo a uma reflexão múltipla de superfície livre, onde o 2º termo da equação corresponde a uma reflexão múltipla de 1ª ordem, o 3º termo da equação corresponde a uma múltipla de 2ª ordem, e assim sucessivamente.

⁴Para o caso marinho onde a única onda captada é a onda P .

6 RESULTADOS

Este capítulo são apresentados os resultados do processamento da linha 19, para três diferentes fluxos de processamento, Figura 6.1. O principal objetivo é a determinação de um fluxo de processamento eficaz para atenuação das múltiplas de superfície livre.

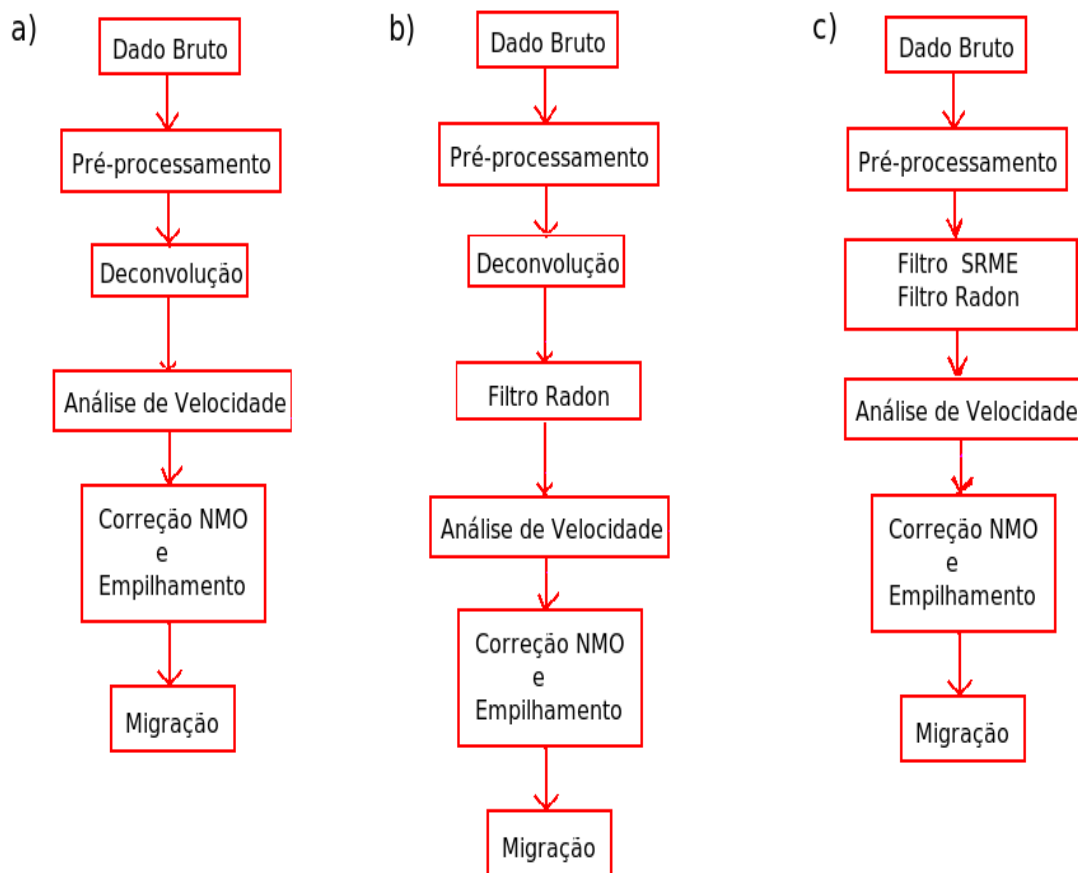


Figura 6.1: (a) Etapas do processamento sísmico básico aplicadas neste trabalho. (b) Etapas do processamento sísmico básico incluindo o filtro Radon. (c) Etapas do processamento sísmico básico incluindo os filtros SRME e Radon.

Na Figura 6.1 (a) temos a aplicação do processamento sísmico convencional, onde o único tratamento aplicado para a atenuação de múltipla de superfície livre é o empilhamento. Na Figura 6.1 (b), temos além da aplicação fluxo anterior, para o tratamento das múltiplas, foi aplicado o filtro radon. Por fim, na Figura 6.1 (c) a atenuação de múltiplas é feita com a aplicação do SRME e Radon, ressaltando que este fluxograma não foi incluído a correção de

amplitude e a deconvolução.

Os dados organizados em afastamento comum, 566,6 m, após a aplicação da deconvolução são apresentados na Figura 6.2. Nesta Figura, tem-se ainda as múltiplas de superfície livre presentes no dado bruto na Figura 3.3, representadas pelas letras A. Prováveis refletores estão representados pela letra B. Diferente da Figura 3.3, no primeiro capítulo, na parte rasa são agora observados prováveis refletores, letra B. Na Figura 6.3, ainda no mesmo domínio de afastamento comum, além da deconvolução foi aplicado aos dados o filtro Radon (de acordo com item (b) do fluxo na Figura 6.1), pode-se verificar agora uma atenuação das múltiplas de superfície livre, quando comparada com a Figura anterior. Em especial as múltiplas mais profundas, a partir de 3000 ms. Na Figura 6.4 aos dados pré-processados é aplicado o SMRE. Devido a necessidade das amplitudes do sinal para a predição das múltiplas, a esses dados não foi aplicada a correção de amplitude e nem a deconvolução. Comparando com as Figuras anteriores, as múltiplas de superfície livre mais rasas foram atenuadas, em alguns pontos tem-se as cicatrizes resultante da subtração das múltiplas. Além disso, as múltiplas mais profundas, atenuadas na Figura 6.4, permanecem neste novo resultado. Sabe-se que o SRME não apresenta bons resultados para dados com pequenos afastamentos. Devido a isso, é indicada a aplicação do filtro Radon após a aplicação do SRME, os resultados são apresentados na Figura 6.5. Esta Figura apresenta o melhor resultado para a atenuação das múltiplas de superfície livre em relação as Figuras apresentadas anteriormente.

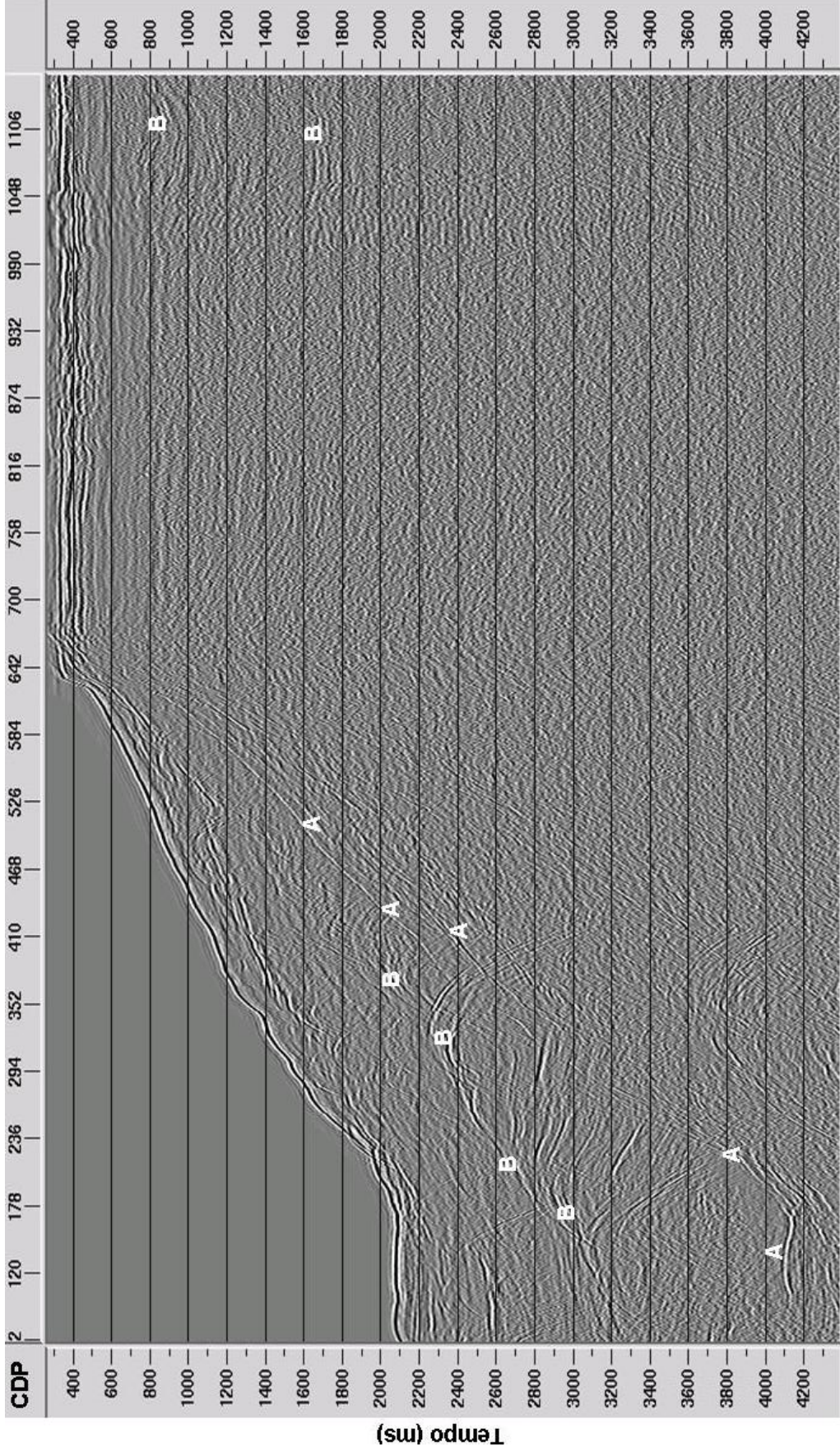


Figura 6.2: Seção de afastamento-comum, 566.6 m, da linha 19 do Camamu, após a deconvolução. Na parte profunda do levantamento, as múltiplas de superfície livre estão demarcadas pela letra A, na parte rasa verifica-se possíveis refletores. Todos os possíveis refletores estão assinalados pela letra B.

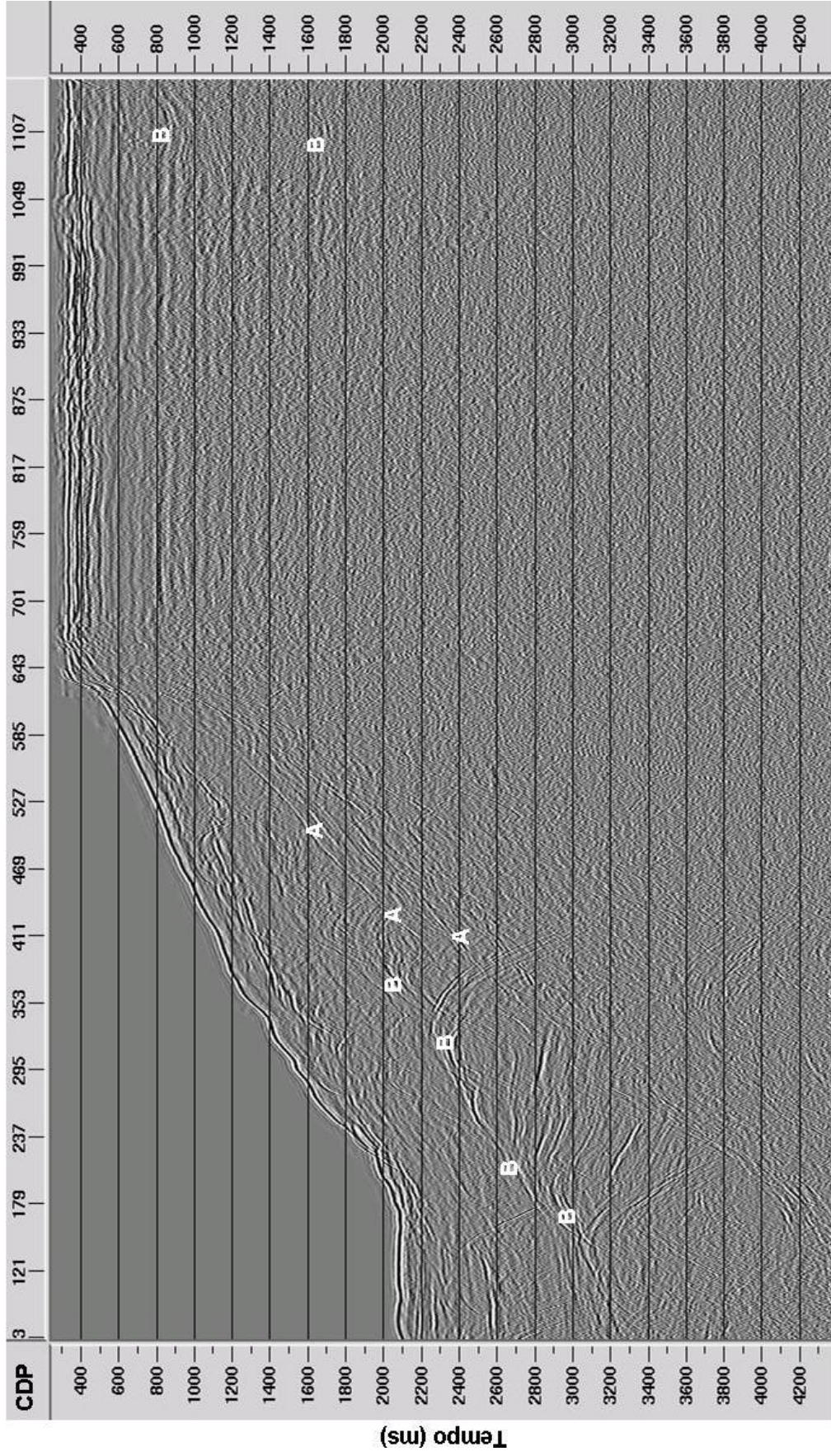


Figura 6.3: Seção de afastamento-comum, 566.6 m, da linha 19 do Camamu, após a deconvolução e aplicação do filtro Radon. Comparando com a Figura anterior, há uma atenuação das múltiplas de superfície livre entre os CDP's 121 a 295 a partir dos tempos 3800 e 4200 ms. Ainda na parte rasa, verifica-se possíveis refletores, assinalados pela letra B.

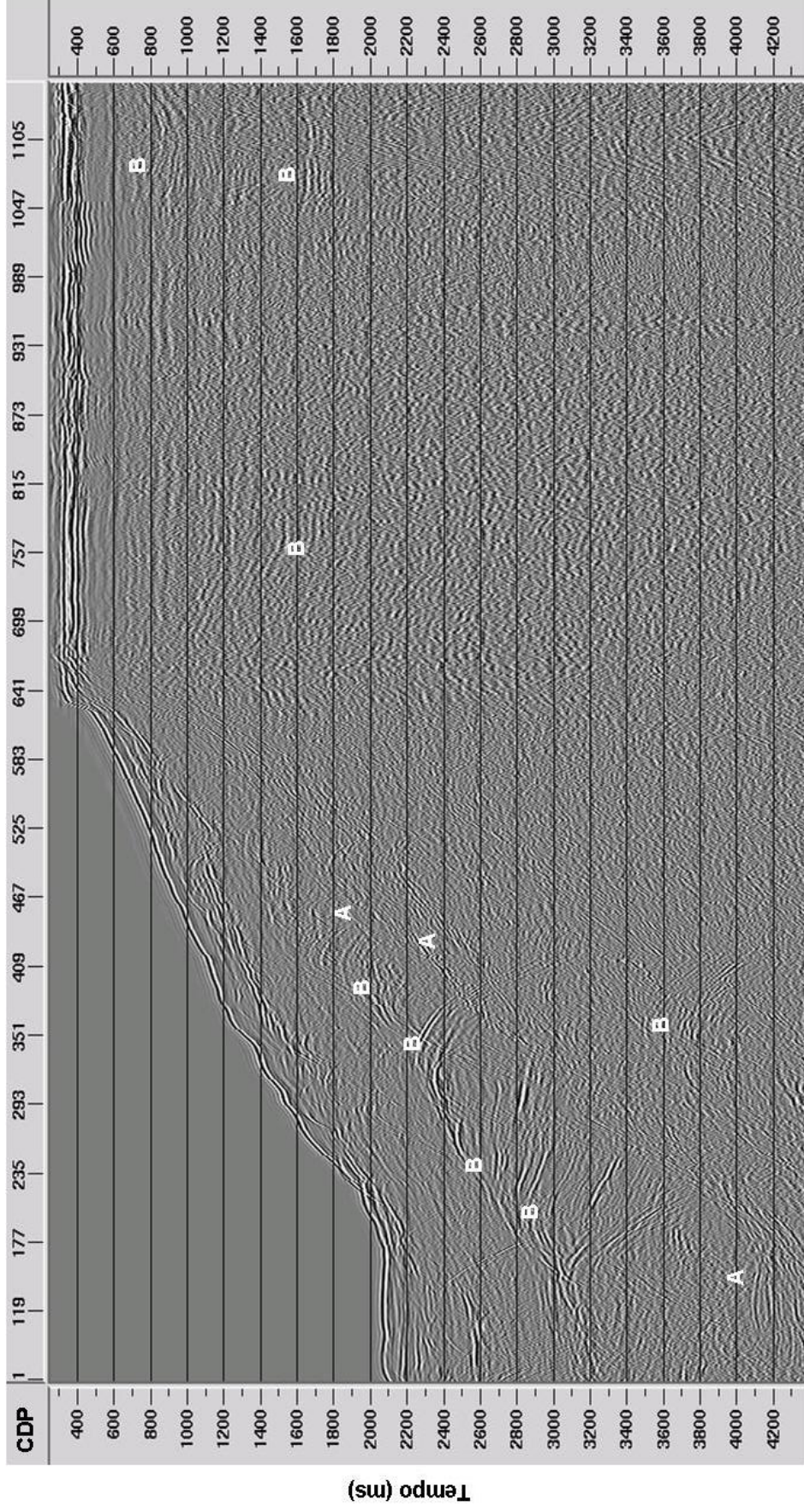


Figura 6.4: Seção de afastamento-comum, 566.6 m, da linha 19 do Camamu, aplicado somente o SRME. Verifica-se a atenuação múltiplas de superfície livre mais rasas, mais é possível verificar em algumas regiões, CDP's 293 a 467, a presença de cicatrizes deixadas pela subtração das múltiplas. As múltiplas mais profundas, atenuadas na Figura 6.3, são visíveis. Esses dados não foram submetidos a correção de amplitude e a deconvolução.

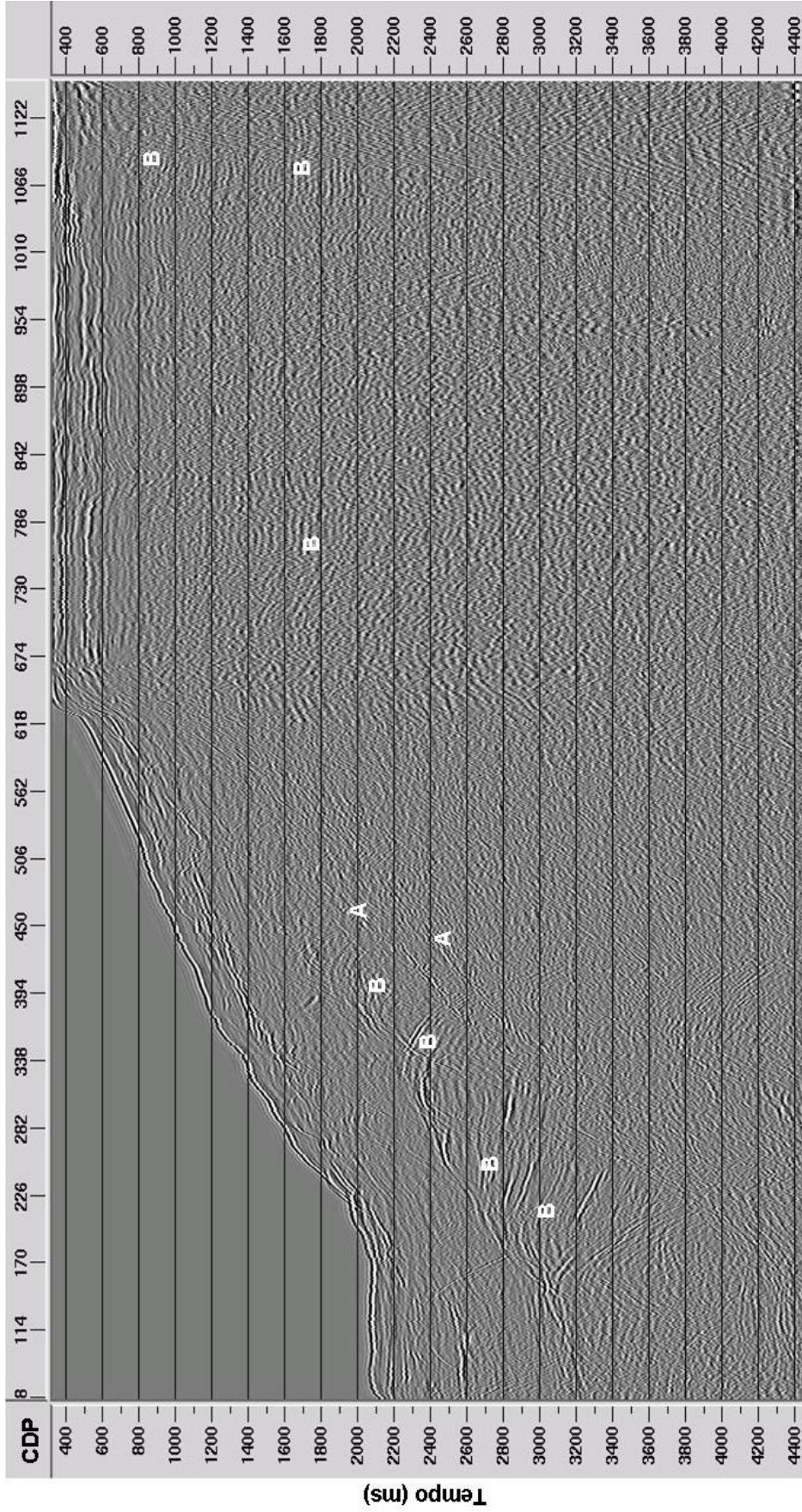


Figura 6.5: Seção de afastamento-comum, 566.6 m, da linha 19 do Camamu, aplicado SRME e filtro Radon, verifica-se um melhor resultado para a atenuação e eliminação de múltiplas de superfície livre em relação a seção com apenas o Radon ou somente com o SRME, devido a união da melhor atenuação das múltiplas na parte funda dos dados com SRME e a eliminação da múltipla de superfície livre entre os tempos 3800 e 4200 ms dos dados com Radon. Da mesma forma que a Figura anterior, os dados não foram submetidos a correção de amplitude e deconvolução.

Em seguida, os dados apresentados nas Figuras 6.3, 6.3 e 6.5 foram empilhados e apresentados nas Figuras 6.6, 6.7 e 6.8, respectivamente. Na 6.6, verifica-se uma atenuação de uma maneira geral nas múltiplas de superfície livre. Este resultado deve a aplicação do empilhamento. Na Figura 6.7, apenas as múltiplas de superfície livre mais rasas ainda são percebidas, assinalados com a letra A, Os eventos de reflexão, assinalados com a letra B, estão mais acentuados quando comparados com a Figura 6.6, principalmente os na parte raza. Por fim, na Figura 6.8 tem-se o empilhamento para os dados aplicado o SRME e Radon, apenas uma cicatriz resultante da subtração é visível, entre os CDPs 336 a 393 a partir de 2200 ms. Da mesma forma que a Figura anterior os prováveis eventos de reflexão estão realçados, quando comparados com a Figura 6.6. Novamente o melhor resultado é encontrado para os dados submetidos ao SRME e Radon conjuntamente.

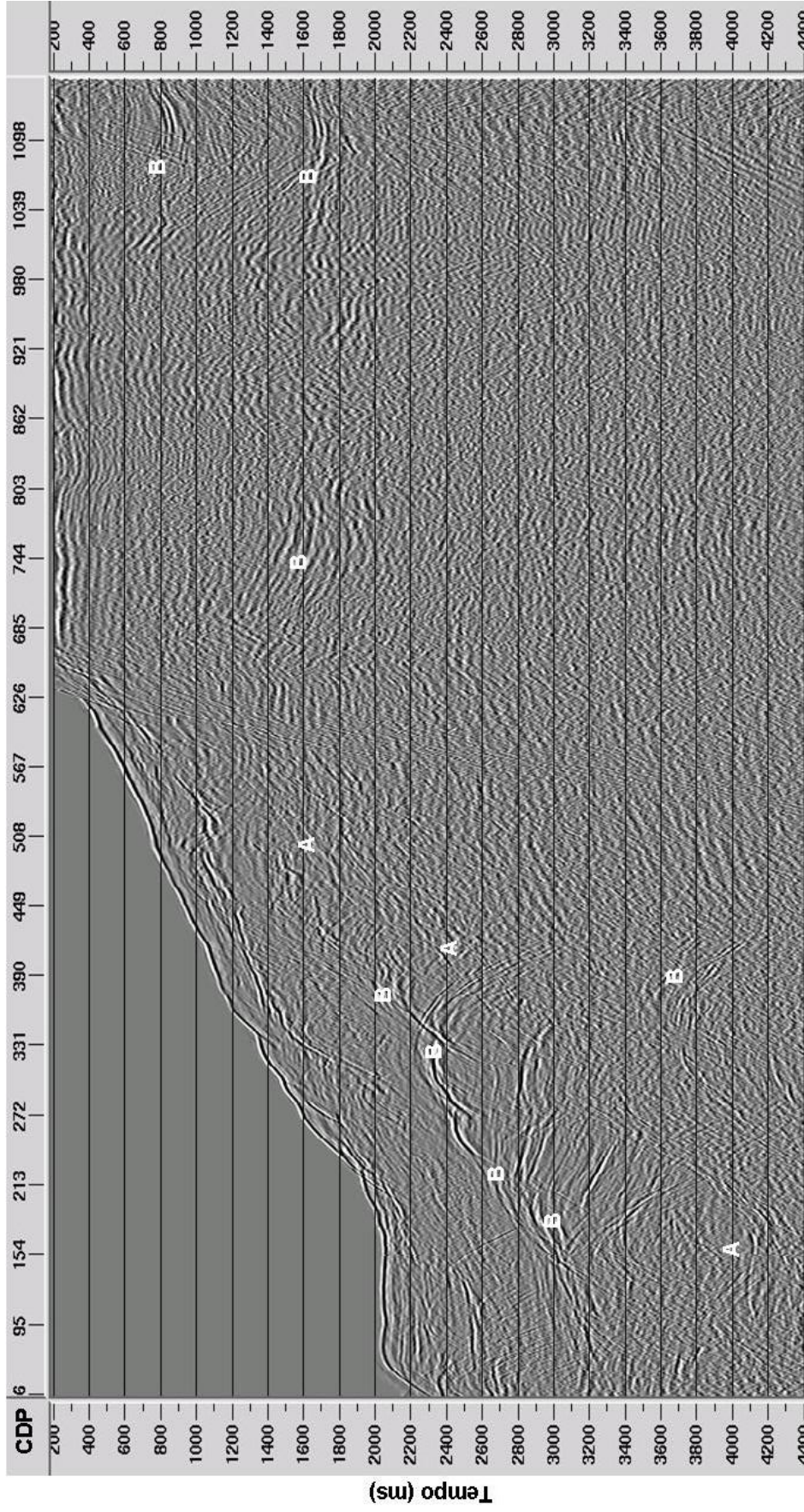


Figura 6.6: Seção empilhada da linha 19 do Camamu, após a deconvolução, verifica-se a eliminação das múltiplas complexas na parte rasa, a aparição de alguns pováveis refletores na parte rasa, entre os CDPs 685 e 803, e funda, entre os CDPs 331 e 449, demarcados com a letra B e a atenuação das múltiplas de superfície livre. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores.

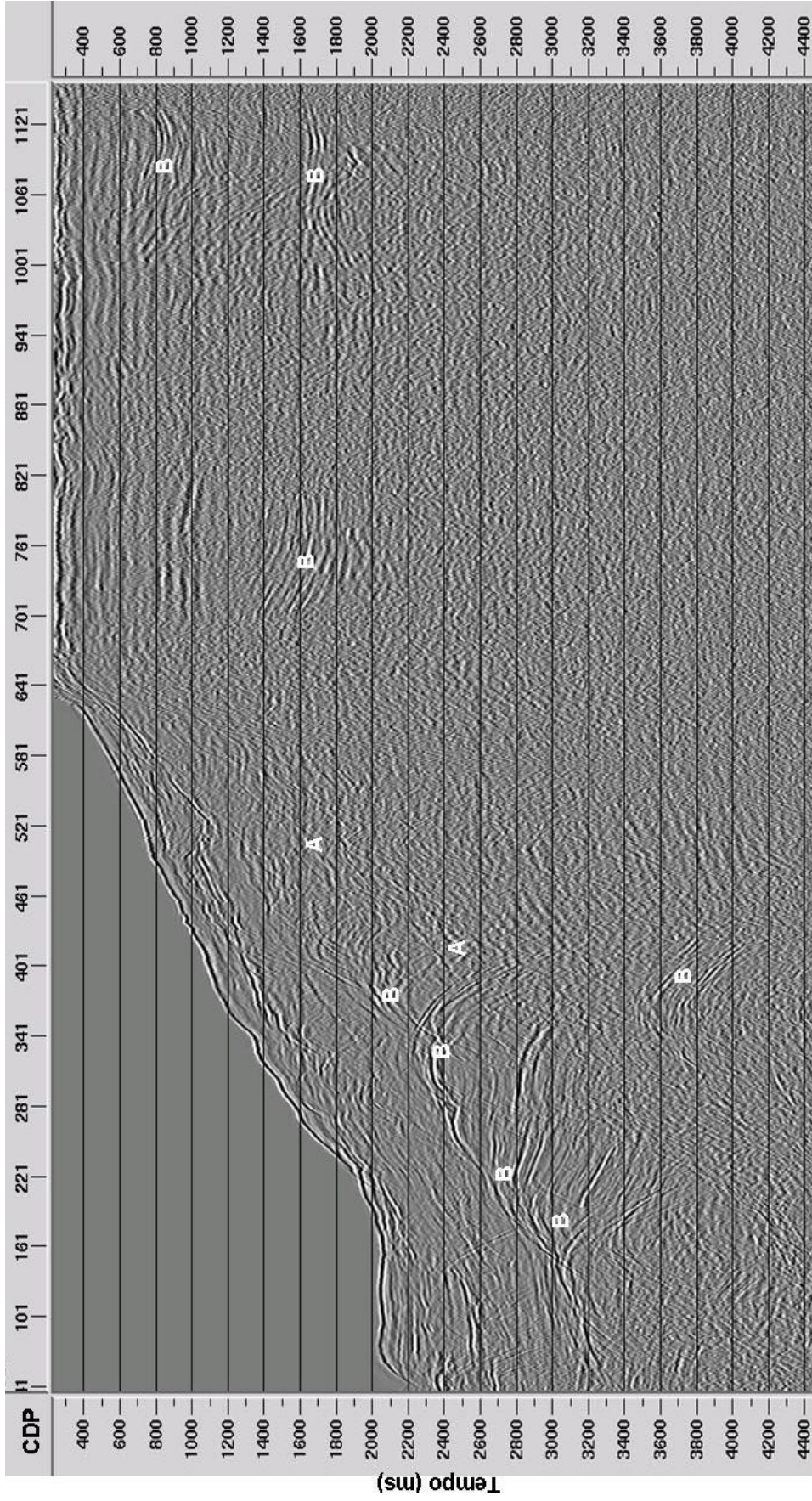


Figura 6.7: Seção empilhada da linha 19 do Camamu com a aplicação do filtro Radon aos dados, verifica-se um melhor resultado para a atenuação de múltiplas de superfície livre em relação a seção com apenas o empilhamento e a eliminação da múltipla de superfície livre entre os tempos 3800 e 4200 ms. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores.

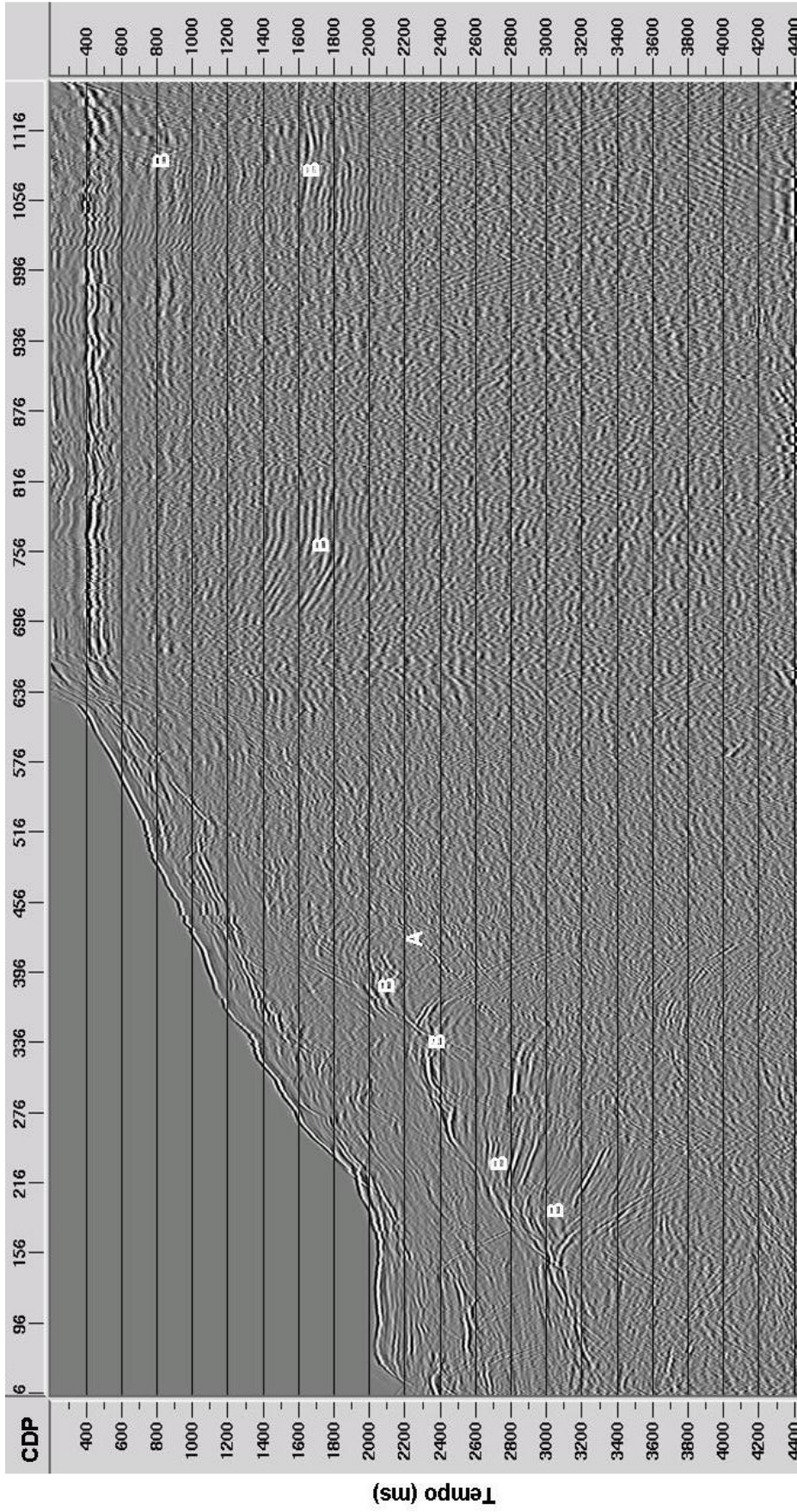


Figura 6.8: Seção empilhada da linha 19 do Camamu com a aplicação do SRME e do filtro Radon aos dados, verificamos a atenuação das múltiplas de superfície livre, demarcadas com a letra A. Na parte rasa não foi aplicado o SRME. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores.

Por fim, os três conjuntos de dados foram migrados e o resultado é mostrado nas Figuras 6.9, 6.10 e 6.11. Na Figura 6.9 a linha 19 foi migrada de acordo com o item (a) do fluxo da Figura 6.1, verifica-se a acentuação dos eventos marcados em relação a seção empilhada, no entanto algumas múltiplas de superfície livre ainda são notadas, letras a na Figura 6.9. Já na Figura 6.10, verifica-se uma diminuição das múltiplas de superfície livre da mesma forma que o encontrado para os dados em afastamento comum e empilhados, o melhor resultado para a atenuação de múltiplas de superfície livre é encontrado na utilização conjunta do SRME e o filtro Radon. Em todas os resultados os possíveis eventos de reflexão estão realçados.

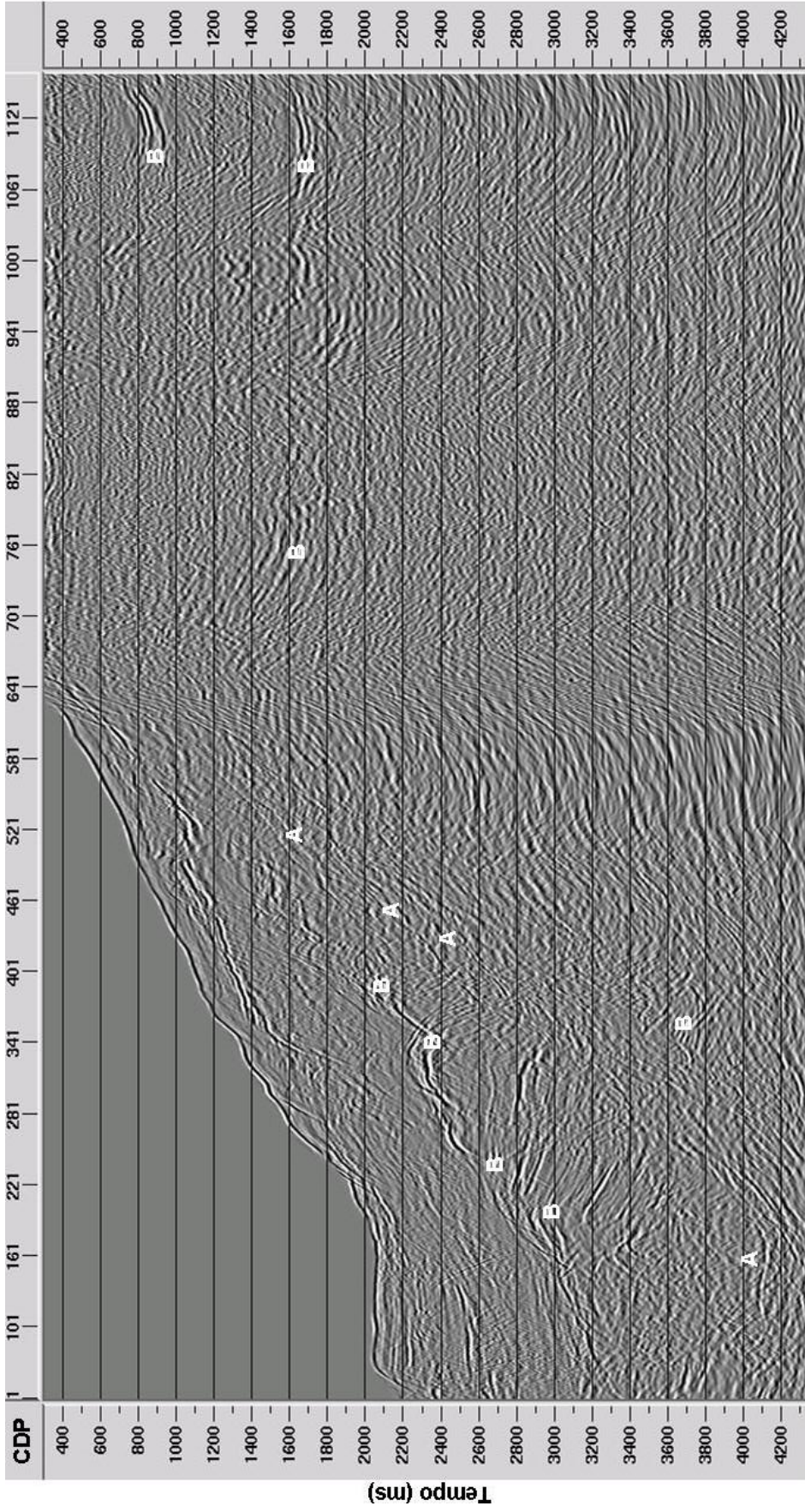


Figura 6.9: Seção migrada da linha 19 do Camamu de acordo com o item (a) do fluxo da Figura 6.1, verifica-se a eliminação das múltiplas complexas na parte rasa, a aparição de alguns possíveis refletores na parte rasa, entre os CDPs 685 e 803, e funda, entre os CDPs 331 e 449, demarcados com a letra B e a atenuação das múltiplas de superfície livre. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis refletores.

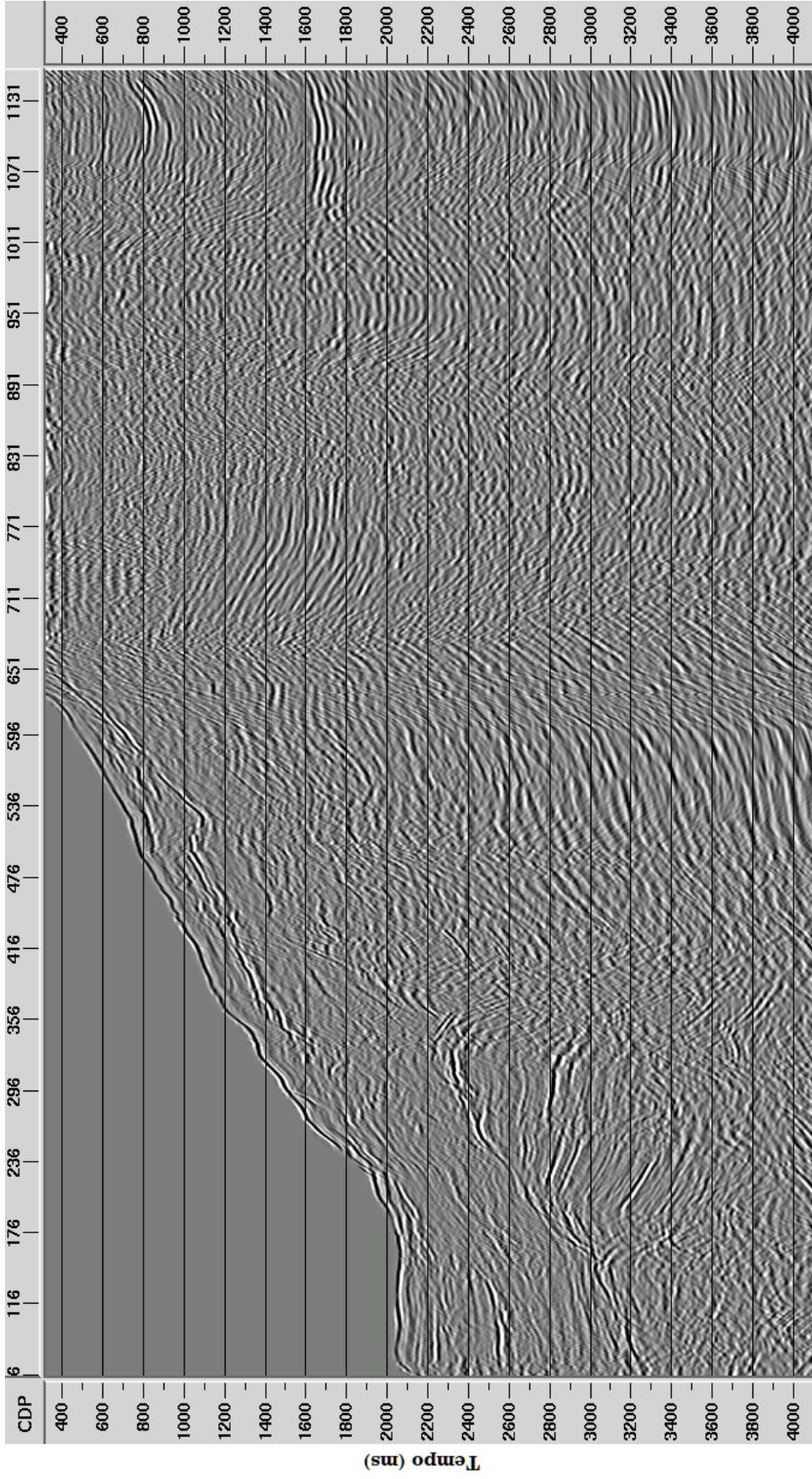


Figura 6.10: Seção migrada da linha 19 do Camamu com a aplicação do filtro Radon aos dados, verifica-se um melhor resultado para a atenuação de múltiplas de superfície livre em relação a seção com apenas o migrado e a eliminação da múltipla de superfície livre entre os tempos 3800 e 4200 ms. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletores.

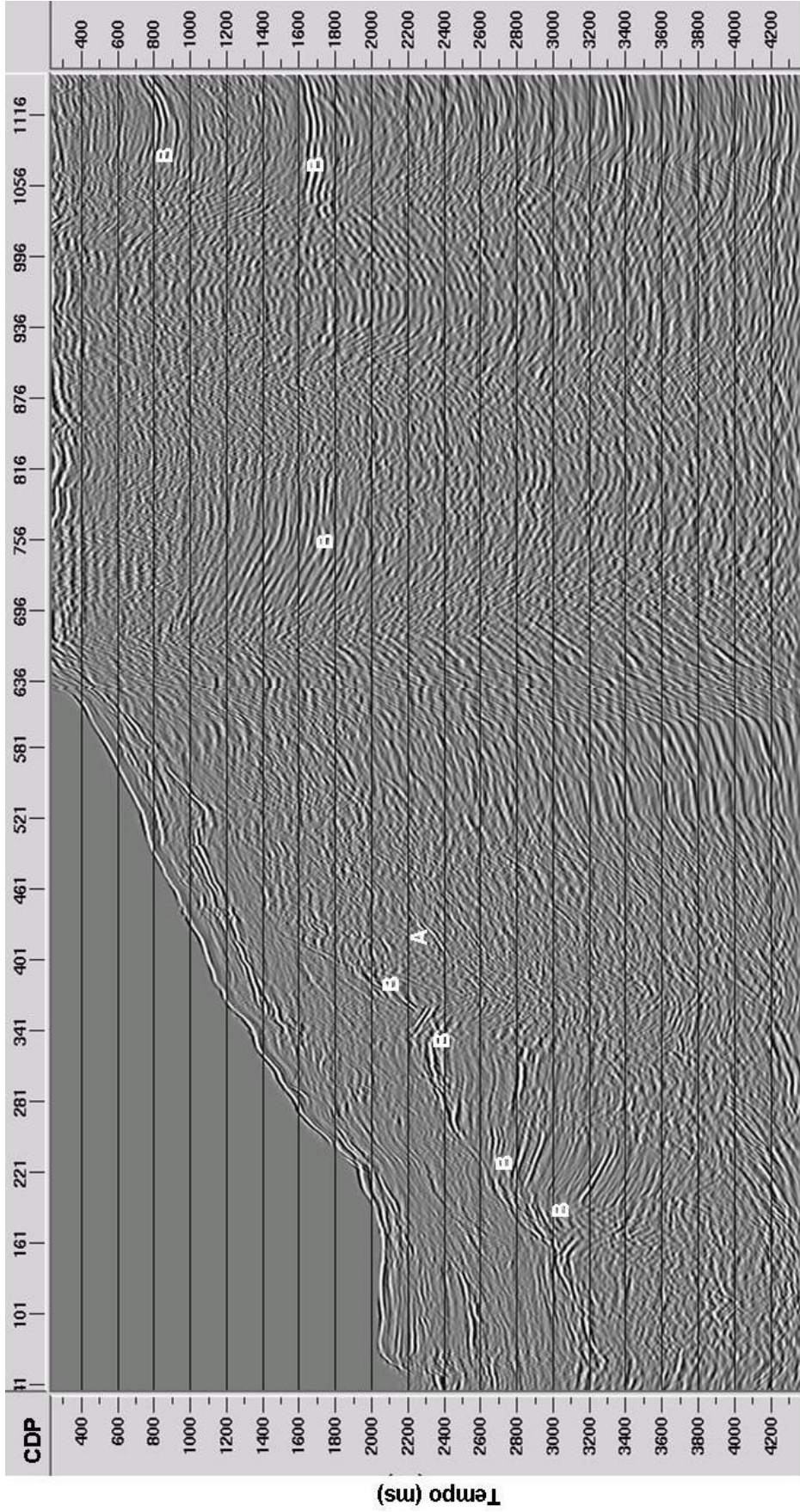


Figura 6.11: Seção migrada da linha 19 do Camamu com a aplicação do SRME e do filtro Radon aos dados, verifica-se na parte funda a eliminação das múltiplas de superfície livre com algumas cicatrizes, demarcadas com a letra A, na parte rasa foi aplicado somente o filtro Radon. Verificar a horizontalização dos refletos na parte rasa. Em todo o levantamento tem-se assinalados pela letra B possíveis reletos.

6.1 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados fluxos de processamento sísmico em tempo com objetivo de atenuar múltiplas de superfície livre. No primeiro fluxo, o processamento realizado foi o convencional e o único tratamento dado a atenuação dessas múltiplas foi o empilhamento. No segundo fluxo antes no empilhamento os dados foram submetidos a filtragem Radon e por fim os dados foram submetidos a aplicação do SRME e em seguida, a filtragem Radon. De acordo com todos os resultados apresentados em várias etapas do processamento: dados pré-empilhamento, dado empilhado e dado migrado, o fluxo mais eficaz para a atenuação das múltiplas foi a combinação do SRME e a filtragem Radon. É importante ressaltar que para o uso do SRME os dados não devem ter sido submetidos a correção de amplitude e nem a deconvolução. O SRME foi aplicado apenas na região mais profunda, isto se deveu ao fato da dificuldade em modelar as múltiplas da região mais rasa. No entanto, é objetivo de um trabalho futuro a modelagem das múltiplas através do SRME em regiões com uma pequena lâmina de água. A filtragem Radon foi aplicada a todo o dado. Neste trabalho também testou-se a correção DMO, que por não apresentar diferenças entre o dado corrigido e o dado não corrigido do DMO, este foi retirado do trabalho. Por fim, foi ainda verificado que apenas a filtragem Radon apresenta bons resultados para múltiplas mais profundas enquanto que, a aplicação apenas do SRME apresenta bons resultados para eventos mais rasos.

A principal vantagem da utilização do método de previsão e subtração de múltiplas SRME sobre outros métodos é a capacidade de atenuar reflexões múltiplas que interferem em eventos primários sem remover as reflexões primárias. Este método possui também a característica de ser aplicado em modelos geológicos com alta complexidade na estrutura do fundo-do-mar. Entretanto, apesar desta técnica ser parte integrante da categoria dos métodos de remoção mais promissora na abordagem das reflexões múltiplas ele não possui bons resultados para pequenos afastamentos.

REFERÊNCIAS

- ALAM, A., AUSTIN, J. Supression of multiples using slant stack, *51st Annual International SEG Meeting*, v. 5, p. 3225–3257. 1981.
- ANSTEY, N. A., NEWMAN, P. Part I: The sectional auto-correlogram and Part II: The sectional retro-correlogram. *Geophysical Prospecting*, v. 14, p.391–426. 1967.
- CERVENY, V. Seismic ray theory. [S.l.: s.n.]. 2001.
- CLAERBOUT, J. F. How to derive interval velocities using a pencil and straight edge. *Stanford Expl. Proj.*, v. 14, 1978.
- DUARTE, O. O. Predictive Deconvolution with Additive Noise. *SEG Expanded Abstracts*, v. 11, p. 1149–1151, 1992.
- HUBRAL, P.; KREY, T. Interval velocities from seismic reflection time measurements. *Soc.Expl. Geophys.*, 1980.
- IKELLE, L. T.; AMUNDSEN, L. *Introduction to Petroleum Seismology*. [S.l.]: Society of Exploration Geophysicists, 2005.
- KJARTANSSON, E.; ROCCA, F. The exploding reflector model and laterally variable media. *Stanford Exploration Project Report. Stanford University*, v. 16, 1979.
- LOEWENTHAL D., L. L. R. R.; SHERWOOD, J. The wave equation applied to migration. *Geophys. Prosp.*, v. 24, p. 380–399, 1976.
- NETTO, A.S.T., RAGAGNIN, G.M Compartimentação exploratória da Bacia de Camamu, Bahia. In: Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal/RN, p. 171–182.. 1990.
- SHERIFF, R. E.; L.P, G. Exploration Seismology. [S.l.]: *Cambridge: Cambridge University Press*. 1995.
- STOFFA, P. L. Analysis of seismic data in the τ - p domain, *University of Texas at Austin, Institute for Geophysics*. 1984.
- VERSCHUUR, D.J. Seismic multiple removal techniques – past, present and future. *EAGE Publications*. 2006.
- VERSCHUUR, D. J., KABIR, M. M. N. Comparison of surface-related multiple elimination with Radon multiple elimination. *Journal of Seismic Exploration*, v. 1, p. 363–377. 1992.
- YILMAZ, O. Seismic data processing. [S.l.]: *Society of Exploration Geophysicists*. 1987.