



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

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DECOMPOSIÇÃO EM MODOS
EMPÍRICOS E BALANCEAMENTO
ESPECTRAL PARA ATENUAÇÃO DO
GROUND ROLL.

BEATRIZ OLIVEIRA DE ALMEIDA

SALVADOR – BAHIA
NOVEMBRO - 2016

**Decomposição em Modos Empíricos e Balanceamento Espectral para
Atenuação do *Ground roll*.**

por

BEATRIZ OLIVEIRA DE ALMEIDA

Orientador: Prof. Dr. Milton J. Porsani

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA APLICADA

DO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Comissão Examinadora

_____	Dr. Milton José Porsani - Orientador
_____	Dr. Michelângelo Gomes da Silva
_____	Msc. Wilker Eduardo Souza

Data da aprovação: 01/11/2016

"Ainda, que eu falasse a língua dos
homens. E falasse a língua do anjos.
Sem amor, eu nada seria."Dedico
este trabalho a minha família.

RESUMO

A filtragem de dados sísmicos é uma das etapas fundamentais do processamento sísmico, tal etapa tem como finalidade básica fornecer uma imagem mais próxima possível das estruturas geológicas da sub-superfície de bacias sedimentares. O principal desafio na filtragem de dados sísmicos terrestres é a atenuação do ruído coerente denominado *Ground roll*. O presente trabalho apresentará métodos para atenuação desse ruído, a partir da decomposição em modos empíricos e do balanceamento espectral. A decomposição em modos empíricos constitui-se em decompor o traço sísmico em Funções de Modo Intrínseco, nas quais são funções simétricas com média local igual a zero e mesmo número de zeros e extremos. Já o balanceamento espectral propõe a equalização das faixas de frequência do dado, ao qual gera o traço balanceado através da soma dos traços decompostos em cada banda de frequência. Desta forma, podemos concluir que, a atenuação do *Ground roll* aumenta, por consequência, a razão sinal-ruído da linha. Os resultados numéricos obtidos com a linha sísmica 050-RL-86 da Bacia do Tacutu ilustram o desempenho da metodologia proposta. Ao considerarmos os resultados obtidos, como supergathers, semblances e seções empilhadas, temos a garantia que o método proposto aumenta a razão sinal/ruído do dado, já que atenua de forma eficaz o *ground roll*.

ABSTRACT

Filtering of seismic data is one of the substantial steps of seismic processing, this step is primarily intended to provide a closer picture possible of the geological structures of the subsurface sedimentary basins. The great challenge of land seismic is the attenuation of the coherent noise called it Ground-roll. This paper presents techniques to reduce this noise, based on the decomposition empirical modes and spectral balancing. The breakdown in empirical ways is to decompose the seismic trace in Intrinsic Mode Functions, which are symmetric functions with local mean zero and the same number of zeros and extreme. But the spectral balancing propose the equalization of data of the frequency bands which generates balanced trace by adding the trace decomposed into each frequency band. Therefore, the attenuation of the it Ground-roll increases, consequently the signal to noise ratio of the line. The numerical results obtained from the seismic line Takutu Basin illustrate the performance of the proposed methodology. When considering the results, as supergathers, semblances and stacked sections, we have the guarantee of the value of the proposed method, which increases the signal/noise given since attenuates effectively the it ground-roll.

ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 Decomposição em Modos Empíricos	3
1.1 Histórico e Fundamentos	3
1.2 Função de Modo Intrínseco	4
1.3 Aplicação do método de Decomposição em Modos Empíricos	5
CAPÍTULO 2 Balanceamento Espectral	9
2.1 Fundamentos Iniciais	9
2.2 Balanceamento Espectral e Decomposição de Modos Empíricos	10
CAPÍTULO 3 Processamento Sísmico	12
3.1 Bacia do Tacutu	12
3.2 Linha Sísmica e Fluxograma do processamento	13
3.3 Etapas do processamento	14
3.4 Pré-processamento	15
3.4.1 Leitura do dado em SEG-Y	15
3.4.2 Geometria	16
3.4.3 Edição e Mute	17
3.4.4 Estática	19
3.4.5 Correção de Amplitude	20
3.4.6 Aplicação da Decomposição em Modos Empíricos e do Balanceamento Espectral	22
CAPÍTULO 4 Processamento Avançado	31
4.1 Análise de Velocidades	31
4.2 Correção NMO	32
4.3 Empilhamento	33

4.4 Migração	34
CAPÍTULO 5 Conclusões	39
Agradecimentos	40
Referências Bibliográficas	41

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Traços sísmico com seus extremos mapeados (Ferreira 2010).	5
1.2	Envelopes dos traços sísmicos (Ferreira 2010).	6
1.3	Média dos envelopes do traço sísmico (Ferreira 2010).	6
1.4	Procedimento para o calculo da DME.	7
2.1	Filtro de Frequência do tipo Passa Banda.	9
2.2	Fluxograma utilizado para aplicação do Balanceamento Espectral (Adaptada de Silva (2009)).	11
3.1	Mapa de Localização da Bacia do Tacutu em território brasileiro. Fonte: Wanderley Filho et al. (2001).	12
3.2	Mapa de localização das linhas 050-RL-086, 050-RL-087, 050-RL-090 050-RL-091.	13
3.3	Configuração tiro-receptor usada em aquisições do tipo split spread simétrico.	14
3.4	Fluxograma do processamento.	15
3.5	Painel principal do módulo <i>2D Land Geometry Spreadsheet</i>	16
3.6	Janela do <i>Setup</i> no <i>Seisspace</i>	17
3.7	Tabela de receptores.	17
3.8	Tabela de fontes.	18
3.9	Tabela de padrão de tiro (<i>pattern</i>).	18
3.10	Tabela de Binning.	18
3.11	Gráfico da cobertura CDP.	19
3.12	Família de traços de ponto de tiro comum em (a). Edição e Mute em (b).	20
3.13	Efeitos da topografia e da ZBV em um refletor horizontal Modificado de AMO-RIM e GONTIJO, 2010.	21
3.14	Picking da primeira quebra do sismograma.	21
3.15	Fatores que afetam os sinais sísmicos. Modificado de SANTOS, 2010.	22
3.16	Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das duas primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.	23
3.17	Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das duas primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.	23
3.18	Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das três primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.	24
3.19	Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das três primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.	24

3.20	Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das quatro primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.	25
3.21	Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das quatro primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.	25
3.22	Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das cinco primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.	26
3.23	Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das cinco primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.	26
3.24	Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das seis primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.	27
3.25	Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das seis primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.	27
3.26	Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das sete primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.	28
3.27	Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das sete primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.	28
3.28	Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das oito primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.	29
3.29	Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das oito primeiras FMIs balanceadas, o dado original e o resíduo.	29
3.30	Espectro de frequência do dado das oito FMI's extraídas.	30
4.1	Exemplo de empilhamento de dados sísmicos. Modificado de ÁVILA, 2010. .	33
4.2	Seção empilhada completa do dado original em (a) e do dado filtrado com o método DME combinado ao Balanceamento Espectral em (b)	35
4.3	Trecho da seção empilhada do dado original em (a) e do dado filtrado com o método DME combinado ao Balanceamento Espectral em (b).	36
4.4	Trecho da seção empilhada do dado original em (a) e do dado filtrado com o método DME combinado ao Balanceamento Espectral em (b).	37
4.5	Trecho da seção empilhada do dado original em (a) e do dado filtrado com o método DME combinado ao Balanceamento Espectral em (b)	38

INTRODUÇÃO

A Geofísica de exploração se inicia no momento da aquisição, tal etapa é tão importante quanto as demais, já que, o arranjo e o posicionamento dos receptores influenciam diretamente na qualidade da imagem de subsuperfície. Tal arranjo precisa considerar que a subsuperfície pode vir a possuir estruturas geológicas complexas, propícias para geração e armazenamento de hidrocarbonetos. Para tanto, a sísmica de reflexão, constitui umas das técnicas mais utilizadas para a área de exploração de hidrocarbonetos, já que gera resultados mais precisos e com maior resolução devido sua capacidade e profundidade de investigação.

Com o objetivo de melhorar a razão sinal/ruído, a filtragem de dados sísmicos é uma das etapas fundamentais do processamento já que, a mesma, tem como objetivo atenuar os ruídos, a fim de retratar a imagem de subsuperfície mais próxima possível da geologia real da bacia. Para tanto, é necessário que o geofísico responsável pelo processamento se preocupe em estudar as características do ruído que se deseja atenuar (Silva, 2004). Caso não ocorra tratamento adequado, refletores serão camuflados na seção sísmica empilhada. Com isso, se faz necessária uma análise cuidadosa para que se evitem eliminações abruptas em partes significativas de bandas do sinal – como as reflexões – e a criação de artefatos numéricos. Caso consigamos realizar tal etapa de forma adequada, o resultado será um aumento considerável da razão sinal/ruído, proporcionando uma seção empilhada de boa qualidade.

Para retratar uma imagem que não esteja contaminada pelo *ground roll*, o processamento sísmico terrestre possui um grande desafio, Esse tipo de ruído está intimamente ligado à propagação de ondas superficiais do tipo *Rayleigh*. O *Ground Roll* é dito coerente pelo fato de se conhecerem suas características de baixas frequências e alta amplitude (Yilmaz). No sismograma, em uma seção de tiro comum, ele possui uma característica típica de um cone, no qual mascara as reflexões, reduzindo consideravelmente a razão sinal/ruído do dado.

Neste trabalho, utilizaremos a técnica de Decomposição em Modos Empíricos (DME) combinado ao Balanceamento Espectral, com o principal objetivo de atenuar o *Ground roll*. Tal método de decomposição analisa sinais não-estacionários e não-lineares como uma alternativa à resolução dos problemas relativos à transformada de Fourier. O método DME trabalha traço-a-traço decompondo as bandas de frequências largas em vários traços com bandas de frequência estreitas, que são as FMIs (Huang et al., 1998). O princípio básico do método é fazer uso da reconstrução parcial do sinal, ou seja, o somatório das FMI's com apenas as bandas de frequências referente a informação do sinal desejada. Geralmente, as

primeiras FMIs estão relacionadas a parte do sinal de grande interesse, assim, podemos realizar uma filtragem eliminando as FMIs relacionadas aos ruídos, para reconstruir o sinal com o somatório apenas das FMIs de interesse.

O resultado obtido após a aplicação da DME é uma decomposição do sinal original em painéis associados a cada uma das FMIs, conservando em cada painel, feições do dado original decompostas a diferentes bandas de frequência (Alves, 2015).

Já a aplicação do Balanceamento Espectral resulta em um nivelamento do espectro de frequência, podendo ser aplicadas em dados pré-empilhados ou pós-empilhados, melhorando a resolução temporal e espacial do dado. Por consequência do processo, se amplifica as altas frequências e atenua as mais baixas frequências, atenuando o *Ground Roll* de forma eficaz. A decomposição espectral de dados sísmicos ajuda, por exemplo, na análise de estruturas estratigráficas ou reservatórios fraturados.

Para a realização do processamento foram usados dois *Softwares*, utilizamos *SeisSpace*, desenvolvido pela empresa Landmark Graphics Corporation. E o pacote livre de processamento *Seismic Unix* (SU), fora desenvolvido e possui livre distribuição pelo *Center for wave Phenomena* (CWP) da *School of Mines*, Colorado.

CAPÍTULO 1

Decomposição em Modos Empíricos

1.1 Histórico e Fundamentos

Uma das técnicas mais conhecidas para análise de sinais é a transformada de Fourier. Porém, a transformada de Fourier se torna obsoleta para uma análise de sinais não-estacionários, ou seja, sinais que apresentam conteúdo espectral variável com o tempo. Isso ocorre devido ao fato de que a transformada de Fourier, define o conteúdo de frequência do sinal sem correlacionar com o tempo no qual ocorre. Logo, a transformada de Fourier fornece uma análise exclusivamente frequencial.

Com a necessidade de sanar tais problemas, foram desenvolvidas algumas soluções com o objetivo de realizar uma análise temporal e frequencial, ao mesmo tempo, nos sinais não estacionários. A primeira delas foi a Transformada de Fourier de Tempo Curto (STFT – *Short Time Fourier Transform*). O objetivo da STFT é incorporar uma variável referente a frequência local no tempo, tal transformada utiliza uma janela na qual o sinal permanece quase estacionário.

Porém, tal janela possui tamanho fixo, ou seja, a mesma se desloca ao longo de todo o sinal. Desta forma, surge um novo problema, o tamanho da janela, já que, uma vez definido, é constante para todas as frequências do sinal. Tudo isso nos leva a discutir o princípio da incerteza, originalmente encontrado e formulado por Heisenberg, no qual afirma que, o momento e a posição de uma partícula em movimento não pode ser conhecido simultaneamente.

A Decomposição de Modo Empírico (DME) (do inglês, *Empirical Mode Decomposition*) se originou da transformada de Hilbert-Huang (HHT) e foi proposta por (Huang et. al, 1998). Tal método possui como principal objetivo, retirar as informações acerca do comportamento oscilatório do sinal como um todo. Por conta disso se tornou uma possibilidade de resolução aos problemas relacionados à transformada de Fourier.

Ao contrário de alguns métodos tradicionais, como Wavelets, Fourier e Funções Empíricas Ortogonais – EOF, a DME trata-se de um método intuitivo, direto e adaptativo, além de suas bases de decomposição serem derivadas do dado original, podendo ser utilizada em dados não-lineares e não-estacionários sem perder o caráter físico e matemático. O grande

incentivo à utilização do método é que podemos determinar sua frequência instantânea, já que o dado contém diferentes modos intrínsecos de oscilação.

Como a decomposição é do tipo adaptativa, torna-se possível representar sinais complexos e não-estacionários através de um somatório de funções de modo intrínseco (FMI). Desta forma, o método DME trabalha traço-a-traço decompondo as bandas de frequências largas em vários traços com bandas de frequência estreitas, que são as FMIs.

1.2 Função de Modo Intrínseco

Uma Função de Modo Intrínseco (FMI) é uma função simétrica em relação a média, na qual representa um modo de oscilação do dado. Desta forma define-se uma frequência instantânea (Amorim, 2009). Como uma FMI é de natureza oscilatória ela pode apresentar variações da amplitude e frequência com o tempo. Deve satisfazer duas condições:

- 1) O número de zeros e de extremos são iguais ou diferem de um.
- 2) Para qualquer ponto, a soma do valor da média entre os pontos de máximo e a mínimo é igual a zero.

Tais condições tem como objetivo restringir e provar a necessidade das FMIs serem simétricas com relação à media e que não ocorram flutuações na frequência instantânea (Ferreira, 2010).

O processo de *sifting* constitui o cálculo da DME, tal etapa efetua a separação do sinal original em suas FMI's (Amorim, 2009). Tornando possível a extração das características locais de um sinal sem que ocorra a sobreposição nos domínio do tempo e escala. O processo de *sifting* gera um sinal de resíduo, no qual retrata uma fração do sinal inicial que não pode ser representada através da utilização de FMI's, sendo necessário para reconstrução do sinal original a partir de suas decomposições empíricas.

Logo, uma FMI é gerada pela decomposição de uma função f , gerando finitas funções com componentes de amplitude e fase (Vatchev, 2002), representada na equação 1.1.

$$\Psi(t) = r(t)\text{sen}\theta(t) \quad (1.1)$$

onde r representa a amplitude e θ a fase da função.

Tem-se a premissa de que, no domínio tempo-espaco (t-x), a soma das FMIs geradas da decomposição, mais o ruído resultante, constitui o sinal inicial. Isso é explicado pelo fato de

que, as FMI's apresentam modos de diferentes frequências, onde as primeiras FMI's possuem as maiores frequências, enquanto que as última FMI's possuem as menores frequências.

Desta forma, é necessário realizar uma análise em torno do ruído que se deseja atenuar, para preservar as frequências de interesse e subtrair as FMI's adequadas do dado original.

1.3 Aplicação do método de Decomposição em Modos Empíricos

O método de decomposição em modos empíricos, quando aplicado em um traço sísmico inicial, calcula os extremos, ou seja, pontos de máximo e mínimo. Tais pontos são interpolados gerando os envelopes de máximo e mínimo, definidos por $esup(t)$ e $inf(t)$, respectivamente (Antônio, 2013).

As figuras 1.1 e 1.2 descrevem tais etapas:

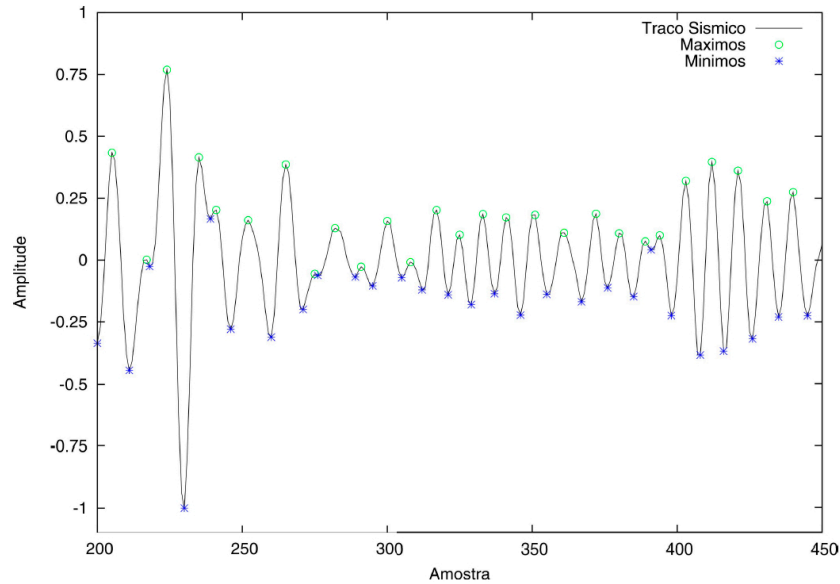


Figura 1.1: Traços sísmico com seus extremos mapeados (Ferreira 2010).

Em posse desses valores, calculamos o envelope médio definido pela média dos envelopes máximo e mínimo descrito na equação 1.2. Observe a Figura 1.3.

$$m_1(t) = \frac{[e_{sup}(t) + e_{inf}(t)]}{2} \quad (1.2)$$

Sabendo as condições teóricas para a existência de uma FMI, podemos aferir que, uma primeira candidata a FMI será a diferença entre o dado sísmico de entrada $x(t)$ e a média $m_1(t)$ de acordo com a equação 1.3.

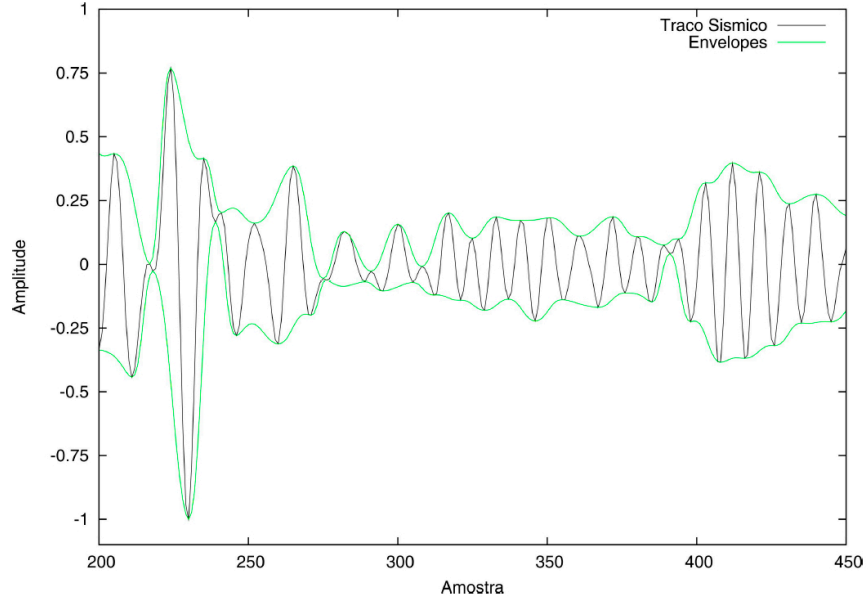


Figura 1.2: Envelopes dos traços sísmicos (Ferreira 2010).

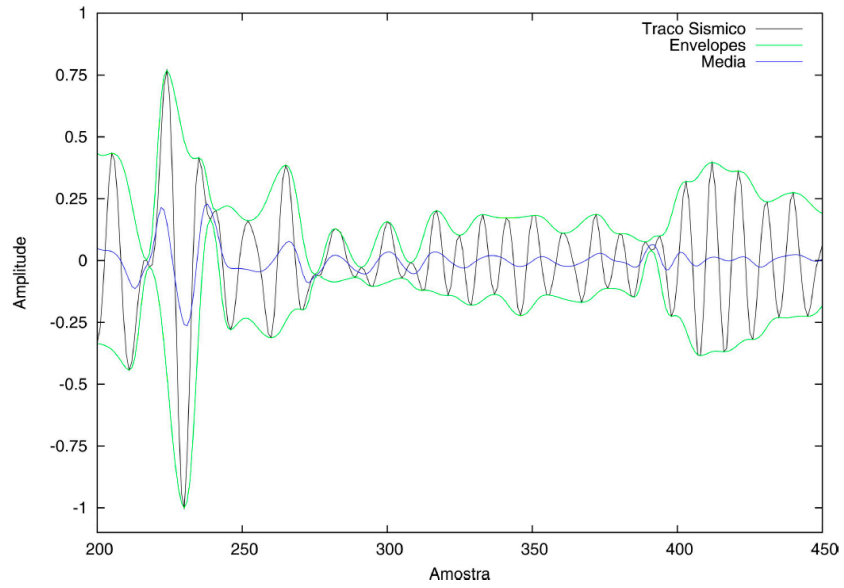


Figura 1.3: Média dos envelopes do traço sísmico (Ferreira 2010).

$$X(t) - m_1(t) = h_1(t). \quad (1.3)$$

A partir da equação 1.3, temos $h_1(t)$ definido como o primeiro candidato à FMI. Neste caso, temos que o sinal anterior, $h_1(t)$, constitui o novo dado de entrada do processo de obtenção das novas FMIs.

$$h_1(t) - m_{11}(t) = h_{11}(t). \quad (1.4)$$

$$c_1(t) = h_{1k}(t) \quad (1.5)$$

Além disso, o novo termo, $m_{11}(t)$, refere-se a nova média dos envelopes, definidos no primeiro passo e $h_{11}(t)$ torna-se o novo candidato à FMI de acordo com a equação 1.4. Este processo irá se repetir até que o sinal de entrada se torne uma FMI (equação 1.5).

Em posse da primeira FMI $c_1(t)$ iremos retirá-la do sinal original $x(t)$ resultando no resíduo $r_1(t)$, a equação 1.6 descreve tal processo, no qual contém as componentes de mais baixa frequência de acordo com a Figura 1.4

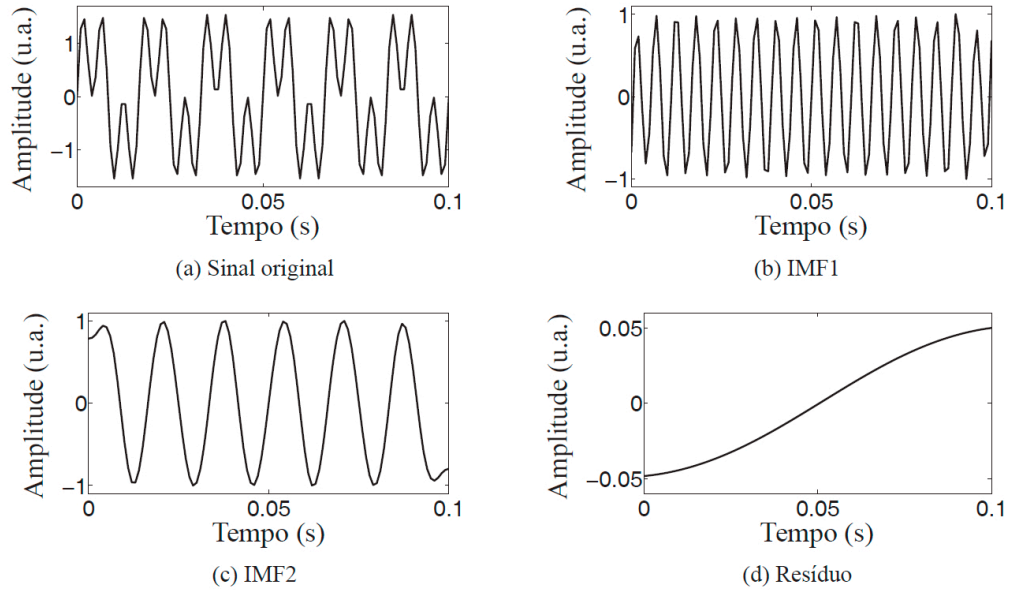


Figura 1.4: Procedimento para o calculo da DME.

$$x(t) - c_1(t) = r_1(t), \quad (1.6)$$

No entanto, é necessário que esse processo tenha um fim. Ou seja, que se limite o tamanho do desvio padrão, que será calculado após dois processos de separação consecutivos (equação 1.7). Geralmente, esses valores variam de acordo com o problema proposto. Esse

limite é alcançado quando tem-se o número de FMIs desejado, ou quando os dados de saída estão em um tamanho menor que o valor inicial, na qual não seja mais possível extrair qualquer FMI.

$$SD = \sum_{t=0}^M \left[\frac{h_{1k}(t) - h_{1(k-1)}(t)}{h_{1(k-1)}(t)} \right]^2 \quad (1.7)$$

Logo, o somatório de todas as FMIs com o resíduo constitui o dado original, como visto na equação 1.8. Isso nos permite analisar vários painéis de FMIs a fim de manter apenas as bandas de frequências relevantes no dado final.

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t), \quad (1.8)$$

Quanto menor é o valor desse desvio padrão, maior será o número de iterações para a separação das FMI's. Apesar de gerar um resultado mais preciso, gera um maior custo computacional. Em contra partida, valores muito baixos de desvio padrão pode gerar um resultado contrário ao esperado, ou seja, pode ocorrer a remoção não somente dos ruídos, mas também de bandas do sinal.

O grande propósito de utilizar o método DME é que ele conserva os aspectos físicos e matemáticos, já que é aplicado diretamente no dado. Logo, tal método não utiliza bases pré-definidas, como os senos e cossenos no caso de Fourier e uma wavelet-mãe no caso da Transformada Wavelet.

CAPÍTULO 2

Balanceamento Espectral

2.1 Fundamentos Iniciais

Para tratarmos o conceito do Balanceamento Espectral são necessárias definições prévias acerca do Filtro de Frequência. Utilizaremos o filtro passa banda, denominado como trapezoidal como visto na Figura 2.1. Tal processo define uma faixa de frequência que será preservada, outra que será eliminada e ainda uma região conhecida como *slope*, na qual a frequência será atenuada. Ou seja, iremos selecionar diversos polígonos de corte no nosso espectro de frequência. Desta forma se faz necessária a análise dos intervalos de frequências nos quais estão definidos o *ground roll*, a onda aérea e os demais ruídos que ocorram durante a aquisição (presentes nas frequências maiores do que 60 Hz, por exemplo). Esse tipo de filtragem é feita no domínio da frequência, ou seja, a transformada direta de Fourier é necessária antes do processo e sua transformada inversa no fim.

O geofísico que irá processar tal dado deve especificar as frequências que se deseja balancear. Logo, por consequência do processo, se amplifica as altas frequências e atenua as mais baixas frequências. No caso deste trabalho temos como objetivo atenuar o *ground roll*, desta forma, precisamos balancear as frequências úteis do dado, diminuindo as baixas frequências e aumentando as altas frequências.

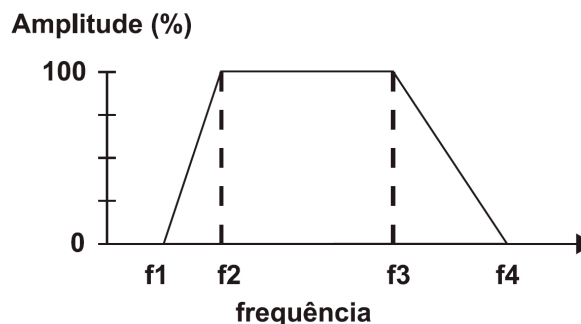


Figura 2.1: Filtro de Frequência do tipo Passa Banda.

O método que foi utilizado é a forma mais comum do balanceamento espectral. Podemos analisar os passos utilizados através do fluxograma da Figura 2.2. Inicialmente o dado é convertido do domínio do tempo $x(t)$, para o domínio da frequência, através da transformada de Fourier 1D. Em seguida o dado é separado em bandas de frequência onde cada um dos traços originais é decomposto em diversos traços com distintos conteúdos de frequência. Tal divisão é realizada como definido acima, pela filtragem passa-banda. Realiza-se a transformada inversa de Fourier a fim de retornar o dado para o domínio do tempo. Após esta etapa, é aplicada uma função de ganho do tipo *Automatic Gain Control* (AGC) em cada um dos traços decompostos. O usuário pode escolher o número de faixas de banda deste filtro. Após a equalização, o traço balanceado é obtido pela soma dos traços decompostos em cada banda de frequência.

2.2 Balanceamento Espectral e Decomposição de Modos Empíricos

Após os conhecimentos teóricos acerca do método de Decomposição em Modos Empíricos (DME), podemos concluir que, tal método trabalha traço-a-traço decompondo as bandas de frequências largas em vários traços com bandas de frequência mais estreitas, denominadas de FMIs.

Porém, o que torna este método diferente do filtro de frequência é que cada FMI se sobrepõe aos conteúdos de frequência das FMIs anteriores. Podendo ser aplicado nos domínios tempo-espaco (t-x). Devido a este fato, o método DME possui uma grande aproximação aos princípios do Balanceamento espectral. Já que este realiza a filtragem a partir da escolha de polígonos que também se sobrepõem.

Logo, a aplicação do Balanceamento Espectral aos dados com DME irá balancear tais frequências afim de alcançar alta resolução aos dados sísmicos. Para tanto, deve-se ampliar a largura de banda do espectro de frequência (Ariza, 2016).

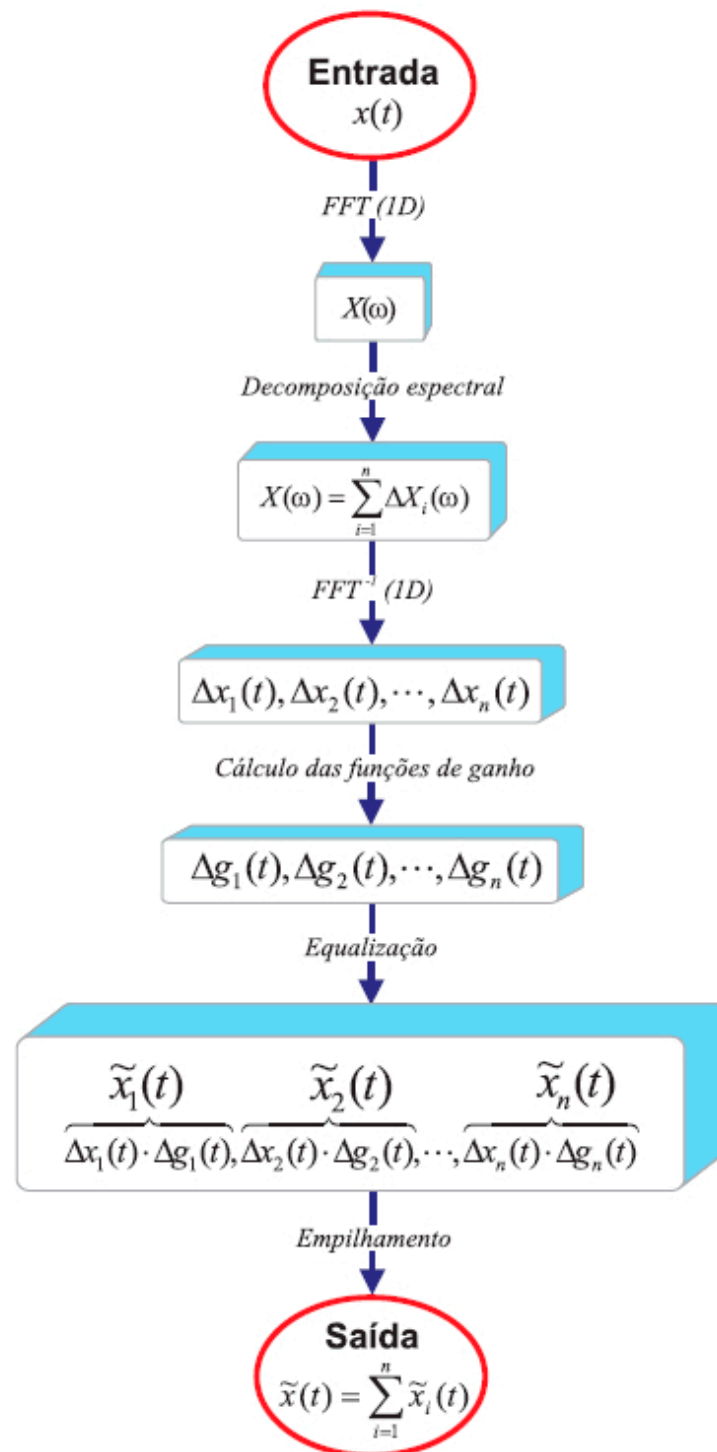


Figura 2.2: Fluxograma utilizado para aplicação do Balanceamento Espectral (Adaptada de Silva (2009)).

CAPÍTULO 3

Processamento Sísmico

3.1 Bacia do Tacutu

Neste trabalho foram aplicados os métodos de filtragem em uma linha da Bacia sedimentar do Tacutu. Na qual possui uma área de cerca de 12.500 km^2 , entre a Guiana e o Brasil. As linhas adquiridas pela PETROBRAS na década de 80 estão localizadas no Estado de Roraima (Brasil), vide Figura 3.1.

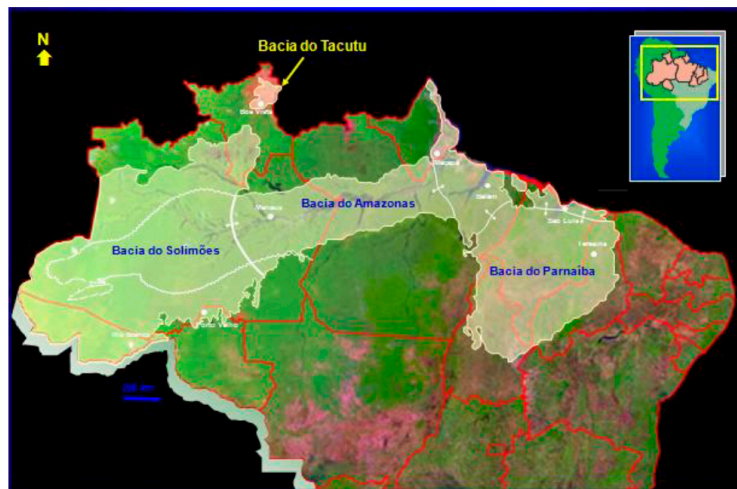


Figura 3.1: Mapa de Localização da Bacia do Tacutu em território brasileiro. Fonte: Wanderley Filho et al. (2001).

Com o foco exploratório, foram realizados diversos levantamentos, entre eles, dados sísmicos de reflexão e refração além de perfuração de poços. Algumas dessas linhas estão descritas na Figura 3.2. Porém, as dezenas de linhas sísmicas adquiridas têm como grande desafio a baixa cobertura e a baixa razão sinal-ruído.

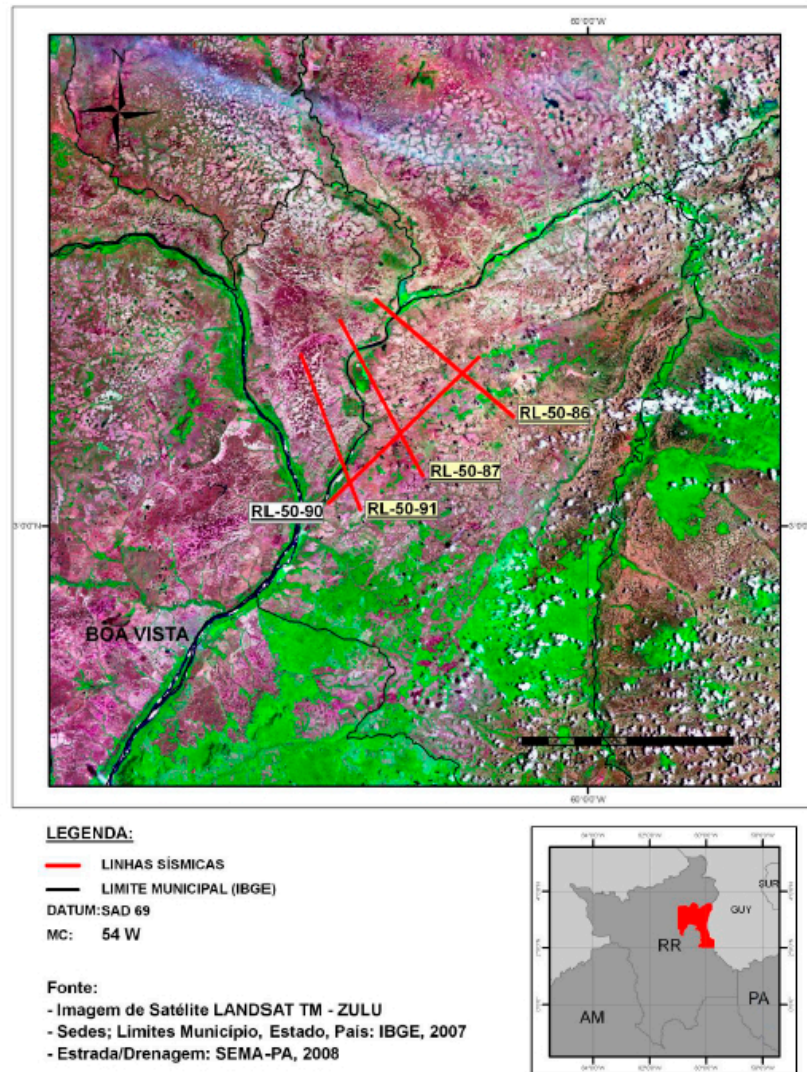


Figura 3.2: Mapa de localização das linhas 050-RL-086, 050-RL-087, 050-RL-090 050-RL-091.

3.2 Linha Sísmica e Fluxograma do processamento

A linha sísmica processada possui um arranjo do tipo split spread simétrico como descrito na Figura 3.3, no qual o ponto de tiro ocupa uma posição central em relação às estações receptoras. Fora utilizada a técnica CDP a qual realizou a amostragem múltipla de um mesmo ponto de reflexão comum em subsuperfície. Neste caso, em um curto período de tempo após o instante de tiro, a primeira chegada de energia sísmica atinge os geofones mais próximos (os traços centrais), e essa energia desvanece simetricamente ao longo dos dois braços do lanço simétrico.

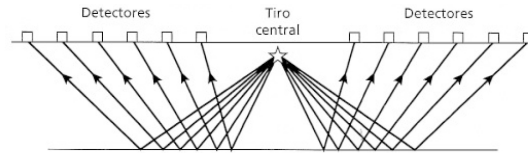


Figura 3.3: Configuração tiro-receptor usada em aquisições do tipo split spread simétrico.

As informações do relatório do observador compõem a tabela 3.1, na qual descreve a disposição do arranjo referente a aquisição. Tem-se o afastamento fonte receptor mínimo (*offset* mínimo) de 150 metros. O arranjo em questão dispõe de um total de 96 geofones equidistantes de 50 metros. Já o intervalo entre os pontos de tiros foi de 200 metros.

Tabela 3.1: Tabela contendo as informações da aquisição da linha.

Bacia	Tacutu
Lanço	2000-150-0-150-2000
Número de canais	96
Configuração dos canais	1-48-x-49-96
Cobertura (fold)	1200 %
Pontos de Tiro	175
Distância entre canais	50 m
Distância entre pontos de tiro	200 m
Intervalo de amostragem	4 ms
Tempo de registro	3 s
Número de tiros registrados	156

O fluxograma que será seguido neste processamento está descrito na 3.4.

3.3 Etapas do processamento

O processamento de dados sísmicos é fragmentado em duas etapas, o pré-processamento e o processamento avançado. A etapa do pré-processamento foi realizado utilizando o *software SeisSpace*. No pré-processamento destacam-se as etapas da geometria e da correção estática, além da correção de amplitude e a filtragem inicial. Já no processamento avançado, tem-se a análise de velocidade como uma das principais etapas, na qual é indispensável para a correção do sobretempo normal (NMO), empilhamento e migração pós-empilhamento.

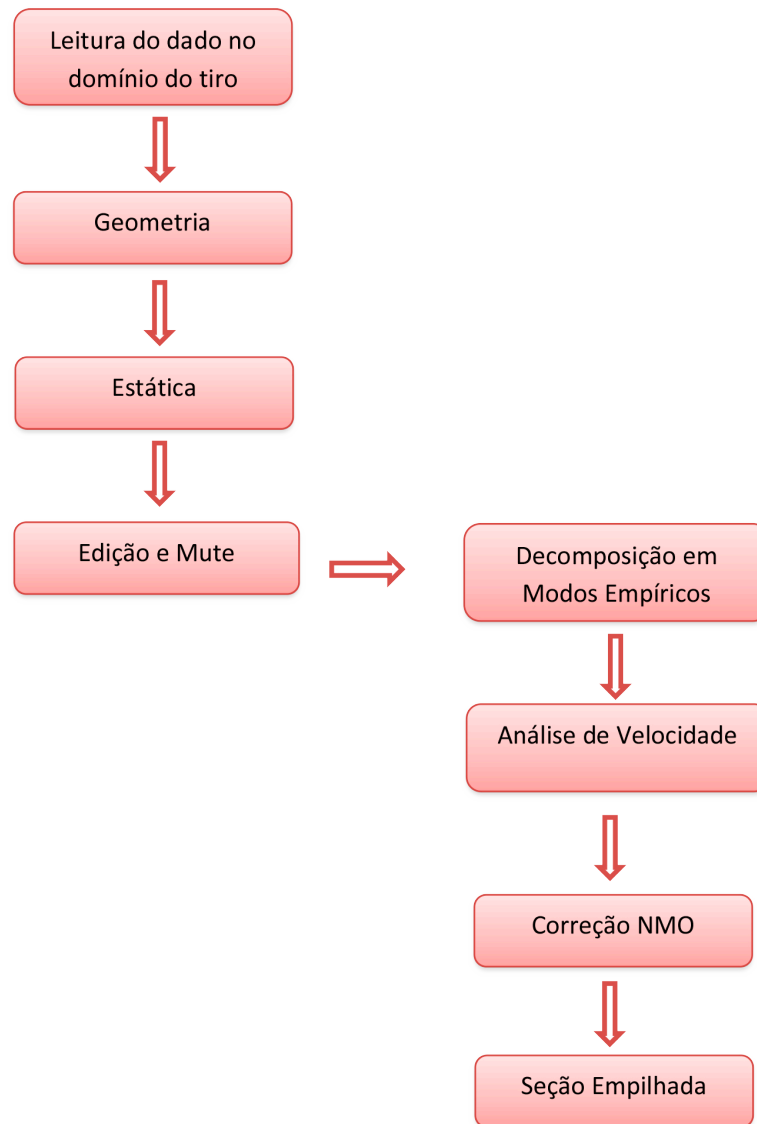


Figura 3.4: Fluxograma do processamento.

3.4 Pré-processamento

O pré-processamento necessita de bastante atenção e cuidado, já que, qualquer erro cometido nesta etapa compromete todas as demais. Esta etapa é responsável por organizar e preparar do sismograma com o objetivo de retirar os ruídos ligados às falhas na aquisição tais como, geofones defeituosos, falhamento dos tiros, correção das amplitudes devido a perda de energia, etc.

3.4.1 Leitura do dado em SEG-Y

O dado sísmico de reflexão 2D da Bacia do Tacutu estava devidamente gravado no

formato SEG-Y, no qual é um dos formatos da *Society Exploration Geophysics* (SEG). Porém, para que se inicie o processamento, há a necessidade de converter o dado do formato de campo para o formato aceito pelo *software*. No caso do *Seisspace* utiliza-se o módulo **SEG-Y input**, ao qual converte o formato do arquivo.

3.4.2 Geometria

A geometria é o alicerce do processamento como um todo. Nesta etapa o geofísico que processará a linha, insere no cabeçalho, ou seja, no *header* de cada traço dos sismogramas, informações importantes quanto ao tipo de aquisição que foi feita. Essas informações descrevem os parâmetros da aquisição, posicionamento dos geofones em relação à fonte sísmica, valores de afastamentos (*offsets*), distância entre pontos de tiro e de geofones, entre outros parâmetros de fundamental importância. Tais etapas serão utilizadas no restante do processamento. Caso haja erro nesta etapa, o trabalho que se seguir poderá ser total ou parcialmente perdido, pois estaremos trabalhando com posicionamento de fontes e receptores errados (Silva, 2004).

A geometria do dado terrestre foi realizada no *SeisSpace* em duas etapas, a primeira delas é executando-se o módulo 2D **Land Geometry Spreadsheet** (Figura 3.5), na qual gera uma planilha com as tabelas de *Setup* (Figura 3.6); *Receivers* (Figura 3.7); *Sources* (Figura 3.8); *Patterns* (Figura 3.9); *Bin* (Figura 3.10), que será devidamente preenchidas a partir dos dados retirados do UKOOA e do relatório do observador.

A segunda etapa da resume-se no carregamento das variáveis preenchidas e desenvolvidos na etapa anterior nos dados sísmicos, a partir do módulo **Inline Geometry Header Load** que carrega automaticamente a tabela criada no módulo anterior da geometria resultante do database para o header de cada traço do sismograma.

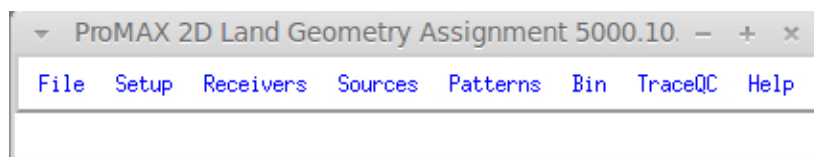


Figura 3.5: Painel principal do módulo *2D Land Geometry Spreadsheet*.

Com a aplicação da geometria podemos gerar o gráfico da cobertura (CDP x número do CDP), como na Figura 3.11 este gráfico nos dá o número de vezes em que um ponto foi amostrado em subsuperfície que está diretamente relacionado com a razão sinal/ruído (Souza, 2015).

Geometry Setup (em marreca)

Assign Midpoints Method (Required)

☒ Existing index number mappings in the TRC

☐ Matching pattern numbers using first live chan and station

☐ Matching pattern number using pattern station shift

☐ Matching station numbers in the SIN and PAT spreadsheets

Station Intervals (Generally Required; Please see Doc.)

Nominal Receiver Station Interval:

Nominal Source Station Interval:

Nominal Crossline Separation:

Nominal Survey Azimuth:

Station Range (Required)

First Live Station Number:

Last Live Station Number:

Base Source station co-ordinates upon a match (Required)
between source and receiver station numbers ?

☒ Yes ☐ No

Source Type (Required)

☒ Shot holes ☐ Surface seismic source

Units (Required)

☒ Meters ☐ Feet

Co-ordinate origin (Optional)

X0: Subtract this value from all X coordinates:

Y0: Subtract this value from all Y coordinates:

Font Assignment

Ok Cancel

Figura 3.6: Janela do *Setup* no *Seisspace*.

SRF Ordered Parameter File (em marreca)

File Setup Edit View Help

Mark	Block	Station	X	Y	Elev	Static
1		1	790961.9	376409.2	79.0	0.0
2		2	790961.9	376409.2	79.0	0.0
3		3	790961.9	376409.2	79.0	0.0
4		4	790961.9	376409.2	79.0	0.0
5		5	790961.9	376409.2	79.0	0.0
6		6	790961.9	376409.2	79.0	0.0
7		7	790961.9	376409.2	79.0	0.0
8		8	790961.9	376409.2	79.0	0.0
9		9	790961.9	376409.2	79.0	0.0
10		10	790961.9	376409.2	79.0	0.0
11		11	790961.9	376409.2	79.0	0.0
12		12	790961.9	376409.2	79.0	0.0
13		13	790961.9	376409.2	79.0	0.0
14		14	790961.9	376409.2	79.0	0.0
15		15	790961.9	376409.2	79.0	0.0

Figura 3.7: Tabela de receptores.

3.4.3 Edição e Mute

O primeiro passo para que se realize as primeiras análises acerca da Edição e do Mute dos traços ruidosos é a visualização prévia do sismograma no domínio do tiro. A análise deste sismograma é fundamental para que haja um controle de qualidade no dado afim de

SIN Ordered Parameter File (em marea)

File

Setup

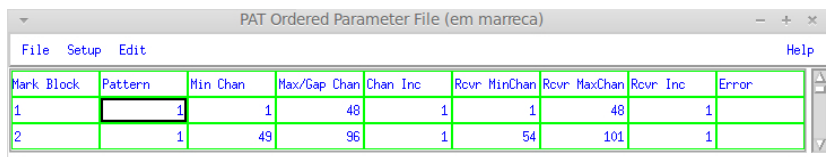
Edit

View

Help

Mark	Block	Source	Station	X	Y	Z	FFID	Offset	Skid	Upole	Hole Depth	Pattern	Num Chn	Shot Fold*	1st Live Sta	1st Live Chn	Gap Chan Blt	Gap Size Blt	Static	
1		2	55	792153,9	375419,6	79,0	2				0,0	0,0	1	96	96	1	1	48	5	0,0
2		3	59	792307,6	375291,3	79,0	3				0,0	0,0	1	96	96	5	1	48	5	0,0
3		4	63	792461,4	375164,2	79,0	4				0,0	0,0	1	96	96	9	1	48	5	0,0
4		5	67	792615,2	375036,5	79,0	5				0,0	0,0	1	96	96	13	1	48	5	0,0
5		6	71	792769,1	374908,8	79,0	6				0,0	0,0	1	96	96	17	1	48	5	0,0
6		7	75	792922,9	374781,1	79,0	7				0,0	0,0	1	96	96	21	1	48	5	0,0
7		8	79	793076,6	374653,4	79,0	8				0,0	0,0	1	96	96	25	1	48	5	0,0
8		9	83	793230,6	374525,8	79,0	9				0,0	0,0	1	96	96	29	1	48	5	0,0
9		10	87	793384,9	374398,6	79,0	10				0,0	0,0	1	96	96	33	1	48	5	0,0
10		11	91	793539,2	374271,1	79,0	11				0,0	0,0	1	96	96	37	1	48	5	0,0
11		12	95	793693,1	374143,5	79,0	12				0,0	0,0	1	96	96	41	1	48	5	0,0
12		13	99	793847,3	374016,2	78,8	13				0,0	0,0	1	96	96	45	1	48	5	0,0
13		14	103	794001,8	373889,0	78,0	14				0,0	0,0	1	96	96	49	1	48	5	0,0

Figura 3.8: Tabela de fontes.



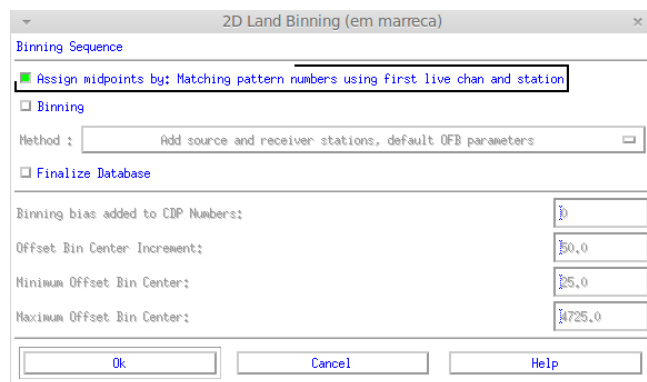
Mark	Block	Pattern	Min Chan	Max/Gap Chan	Chan Inc	Rcvr MinChan	Rcvr MaxChan	Rcvr Inc	Error
1		1	1	48	1	1	48	1	
2		1	49	96	1	54	101	1	

Figura 3.9: Tabela de padrão de tiro (*pattern*).

evitar a propagação de erros durante as próximas etapas do processamento. Para tanto, faremos a eliminação total ou parcial dos traços ruidosos.

Os principais traços editados em um sismograma são: traços com baixa razão sinal/ruído; traços com amplitude zero (mortos), devido ao desligamento ou problemas no geofone; sinal em monofrequência; traços com ruído aleatório devido ao mal acoplamento dos geofones e a ondas na superfície seja da água ou do próprio solo que provoquem vibrações no cabo (?).

A edição foi realizada no domínio do tiro no *Seisspace*, após a montagem da geometria, através do módulo **Trace Kill/Reverse**. Tal módulo aplica a edição através da tabela de *picking* dada na opção *Kill Trace* do módulo *Trace Display*. A eliminação total de traços



2D Land Binning (em marreca)

Binning Sequence

☒ Assign midpoints by: Matching pattern numbers using first live chan and station

☐ Binning

Method :

☐ Finalize Database

Binning bias added to CIP Numbers:

Offset Bin Center Increment:

Minimum Offset Bin Center:

Maximum Offset Bin Center:

Ok Cancel Help

Figura 3.10: Tabela de Binning.

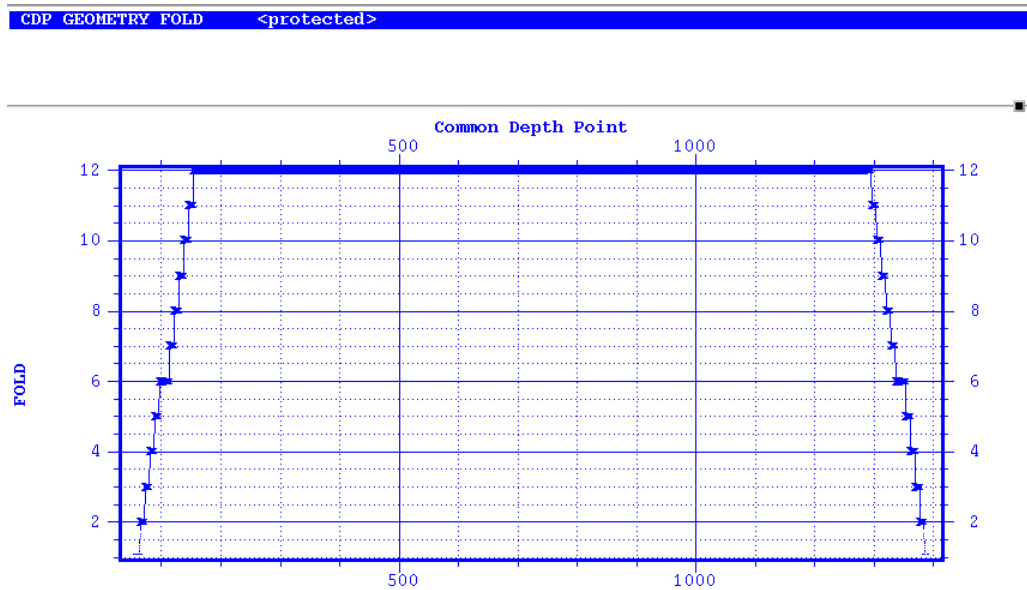


Figura 3.11: Gráfico da cobertura CDP.

ruídos gera diminuição da cobertura do dado, logo, o geofísico que irá processar tal dado deve ter o máximo de cuidado ao para que não haja eliminações equivocadas em partes significativas do sinal.

Grande parte dos registros terrestres possuem ruídos aleatórios aos quais se encontram acima dos eventos de interesse, como as primeiras chegadas, refrações, reflexões, etc. Estes tipos de ruídos estão associados a ruídos ambientais. Desde forma, faz-se necessário, zerar as amplitudes de uma parcela superior de cada traço, através da definição de uma função *mute* acima do tempo que se admite registro de sinal e eliminar essa região. Essa de função é definida a partir da criação de uma janela de *Top Mute* do módulo ***Trace Display***

A Figura 3.12 compara a seção original e a seção após a aplicação da edição e do mute.

3.4.4 Estática

A correção estática é uma etapa extremamente importante quando se trata de um levantamento sísmico terrestre. Isso se dá devido ao fato de que, o material rochoso que compõe a parte superior da superfície terrestre é heterogêneo, ou seja, uma zona altamente intemperizada. Essa heterogeneidade provoca grandes distorções na propagação das ondas elásticas.

A zona que possui baixa velocidade de propagação das ondas elásticas e extensa heterogeneidade vertical e lateral é definida como Zona de Baixa Velocidade (ZBV). Além disso, mudanças na topografia podem causar interferências nas quais provocam deslocamentos nos

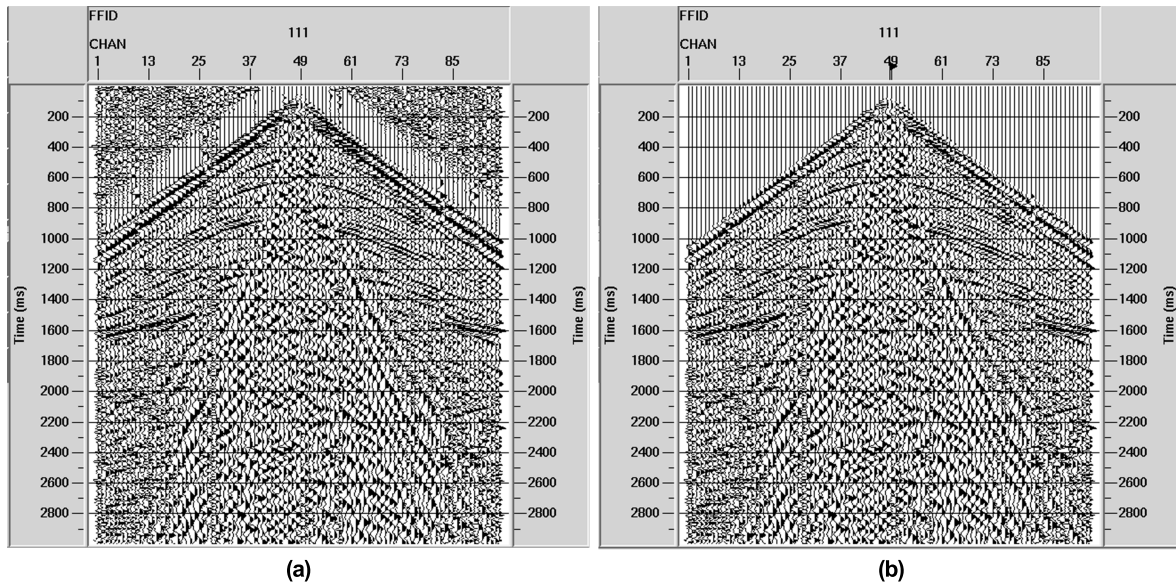


Figura 3.12: Família de traços de ponto de tiro comum em (a). Edição e Mute em (b).

tempos de chegada das reflexões.

Desta forma, a correção estática é a correção dos efeitos dos deslocamentos dos tempos de chegada das reflexões causadas pela ZBV e pela topografia. Assim faz-se necessário a retirada das diferenças do tempo de trânsito, levando todo o dado para um datum de referência. O processo é executado por meio de métodos numéricos denominados por correções estáticas.

A Figura 3.13 descreve os efeitos que a topografia e a ZBV causam em uma seção sísmica. Foram descritas três situações feitas sobre um modelo geológico com um refletor horizontal em subsuperfície.

No *Seisspace* o cálculo da correção estática pode ser realizado utilizando o módulo **First Break Picking** no qual define uma janela em tempo que contenham os primeiros registros do sismograma. Treinamento da rede neural para implantação de um padrão que diferencie o evento das primeiras quebras como na Figura 3.14, dos demais, para que haja a busca traço a traço às primeiras quebras. Após esses cálculos, podemos gerar uma tabela de *picking* automático dos tempos das primeiras quebras dos sismogramas. Para então calculamos a estática através do módulo **Refraction Statics Calculation** e aplicamos a estática através do módulo **Apply User Statics**.

3.4.5 Correção de Amplitude

O objetivo principal da correção de amplitude dos traços sísmicos é amenizar os efeitos

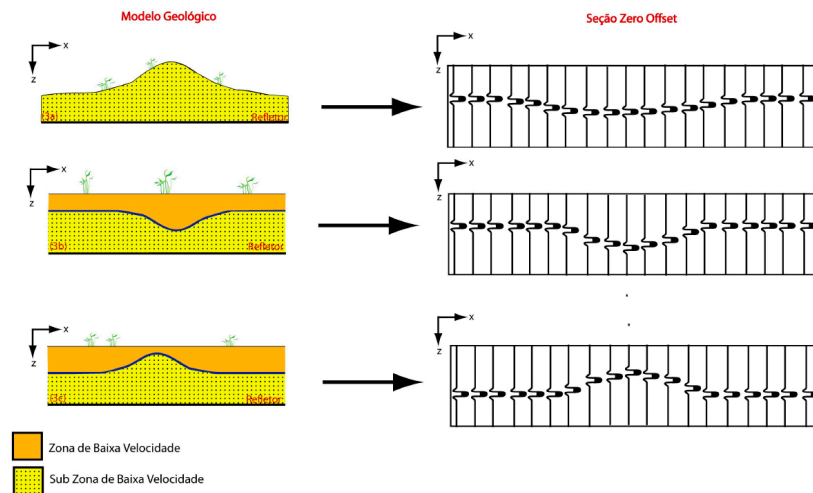


Figura 3.13: Efeitos da topografia e da ZBV em um refletor horizontal Modificado de AMORIM e GONTIJO, 2010.

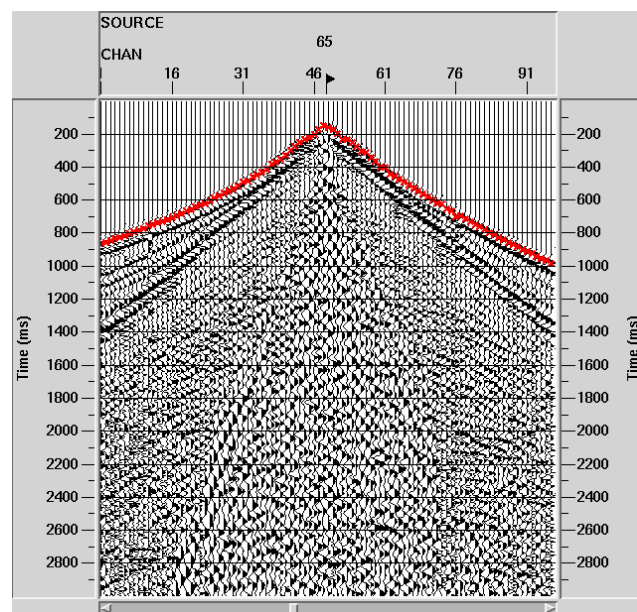


Figura 3.14: Picking da primeira quebra do sismograma.

causados pela atenuação do sinal sísmico durante sua propagação. Essa atenuação está associada a perda de energia do sinal sísmico com o tempo de propagação da onda elástica no interior da Terra. A divergência esférica, absorção e as perdas por transmissão são uma das principais causas desse tipo de atenuação. Além disso, para menores distâncias a perda por espalhamento geométrico é mais significativa em relação à dissipação por atrito, porém com o aumento da distância de propagação tornar-se mais significante as perdas por atrito em detrimento do espalhamento geométrico (Yilmaz). Além desses, temos a influência das

propriedades intrínseca das rochas, do acoplamento de fonte-receptor, reflexões múltiplas, curvatura da superfície do refletor e dispersão (Silva, 2004), a Figura 3.15 descreve esses processos.

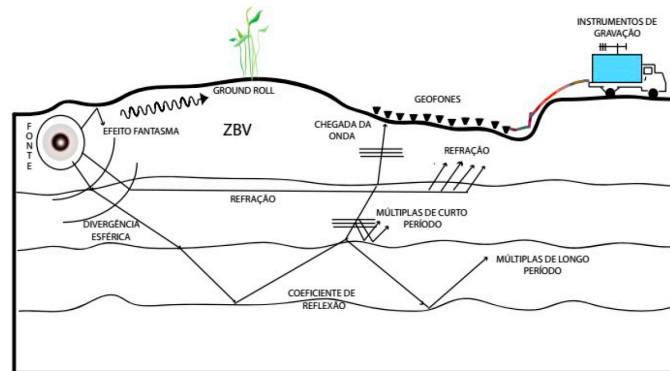


Figura 3.15: Fatores que afetam os sinais sísmicos. Modificado de SANTOS, 2010.

No *Seisspace* este passo é aplicado a partir do módulo *Offset Amplitude Recovery* (OAR), seus parâmetros variam de acordo com o interesse e o dado em questão. Porém este se utiliza de um campo de velocidade preliminar.

3.4.6 Aplicação da Decomposição em Modos Empíricos e do Balanceamento Espectral

Após a Correção de Amplitude o dado foi exportado e transformado em SEG-Y afim de aplicar o método DME combinado ao Balanceamento Espectral no programa desenvolvido em FORTRAN 90. O DME no domínio do tempo é simples e consiste em decompor cada traço em FMIs mais o resíduo.

Para a atenuação do *ground roll* deve-se escolher as melhores frequências que se ajustam a esse objetivo. Sabe-se que, o *ground roll* possui características de baixa frequência e alta amplitude, segundo a teoria, as primeiras FMIs extraídas apresentam maior conteúdo de frequência, enquanto as ultimas um menor conteúdo. Logo, nossa filtragem realizará a soma das primeiras FMIs e exclusão das duas ultimas, resultando numa remoção significativa do ruído.

Foram realizados alguns testes com o objetivo de identificar qual a melhor quantidade de FMIs para atenuação do *ground roll*. Os resultados estão apresentados no domínio do tiro com seus respectivos espectros de frequência nas figuras a seguir.

A figura 3.30 apresenta o espectro de frequência das 8 FMIs extraídas do dado. Desta forma, a análise dos espectros combinada com a visualização dos sismogramas nos permite concluir que houve uma atenuação significativa do *ground roll* quando houve o somatório das

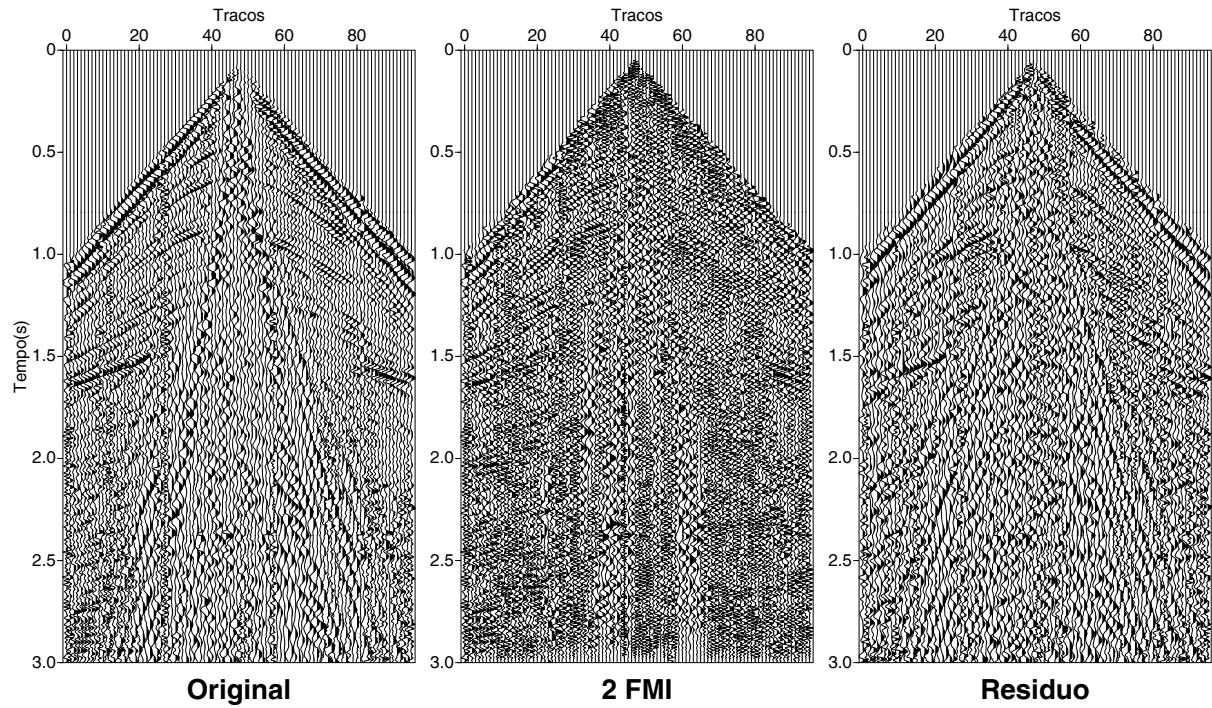


Figura 3.16: Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das duas primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.

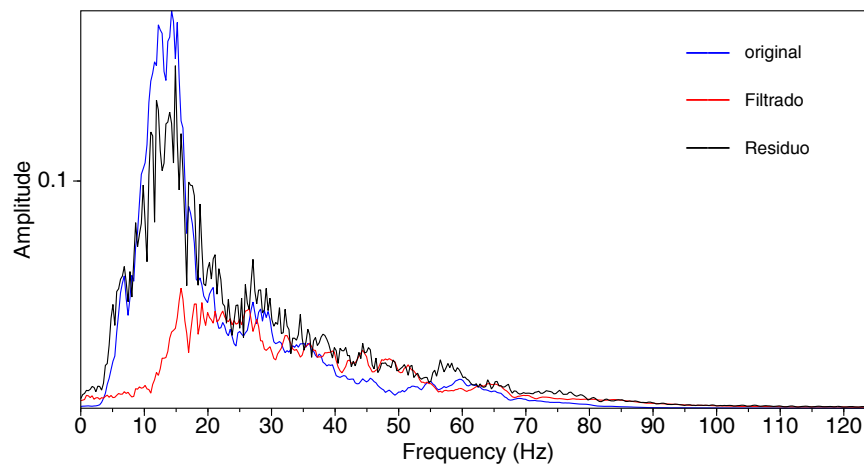


Figura 3.17: Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das duas primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.

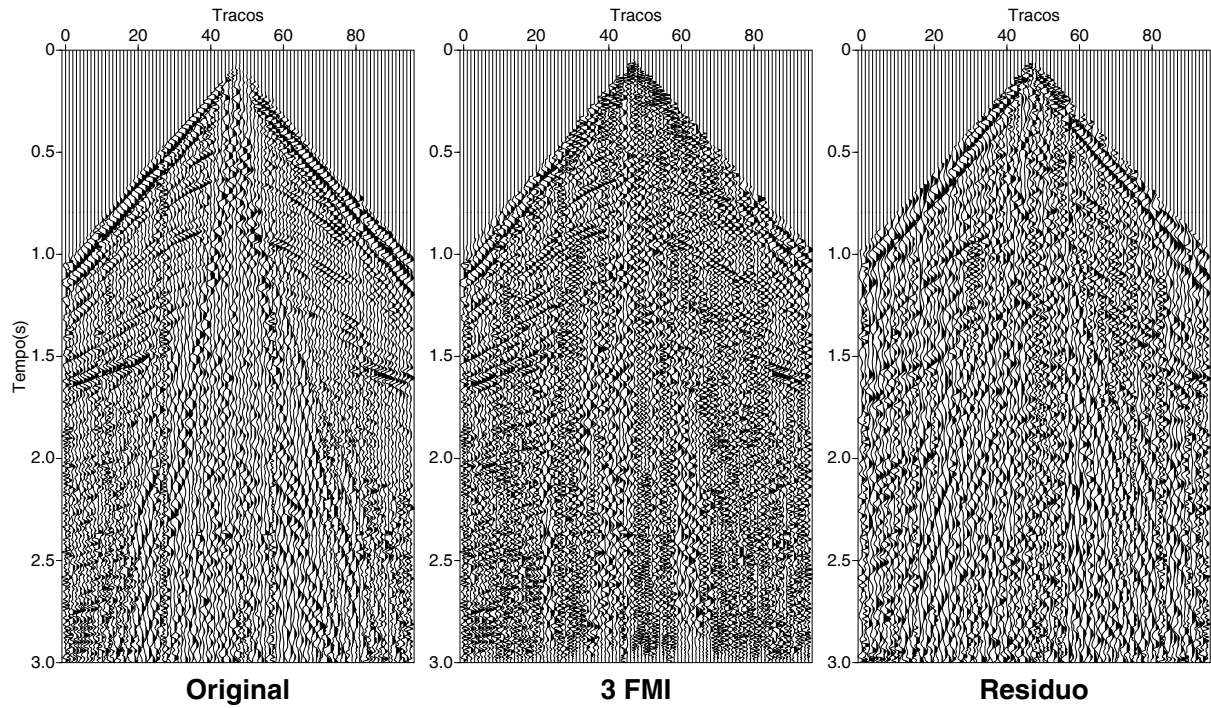


Figura 3.18: Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das três primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.

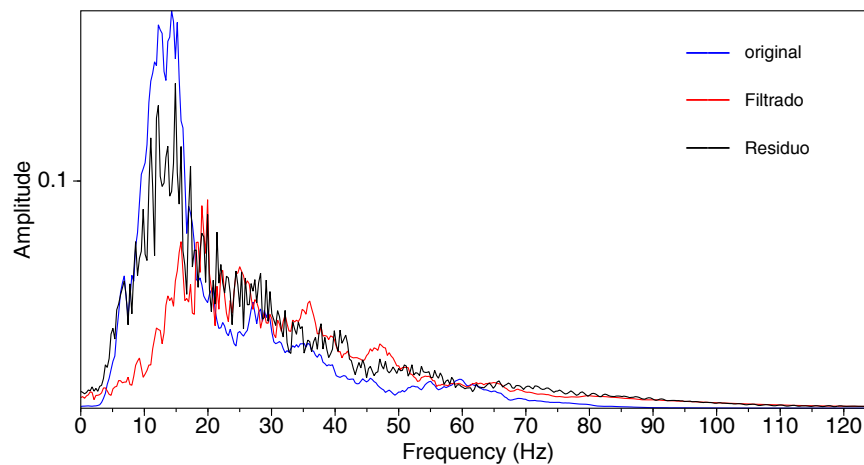


Figura 3.19: Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das três primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.

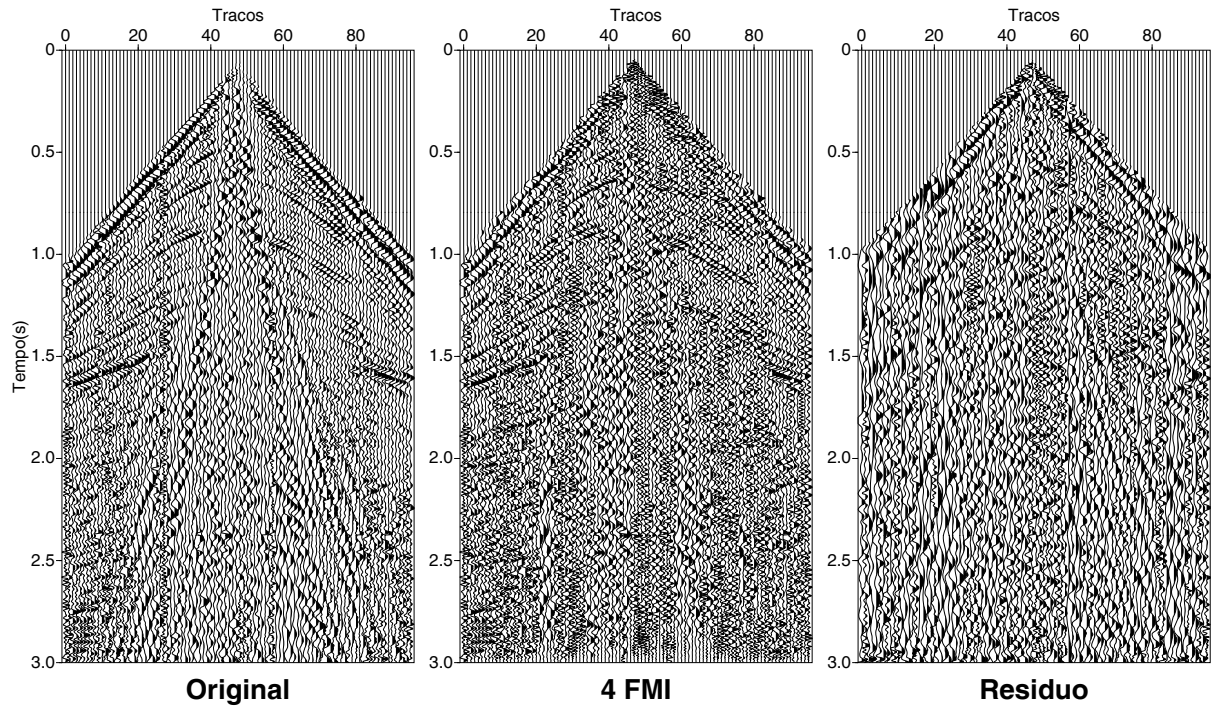


Figura 3.20: Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das quatro primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.

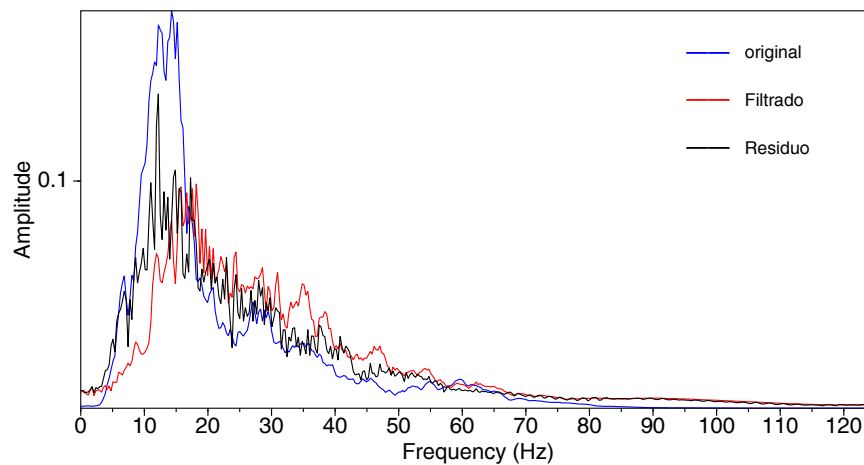


Figura 3.21: Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das quatro primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.

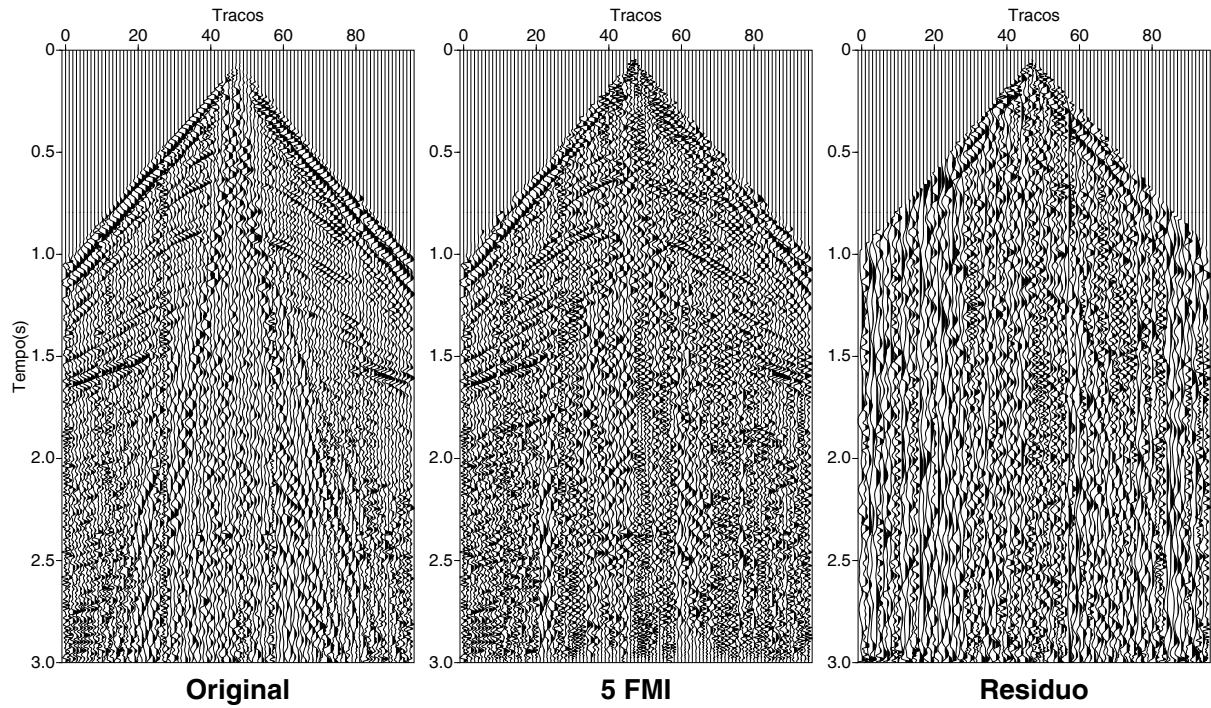


Figura 3.22: Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das cinco primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.

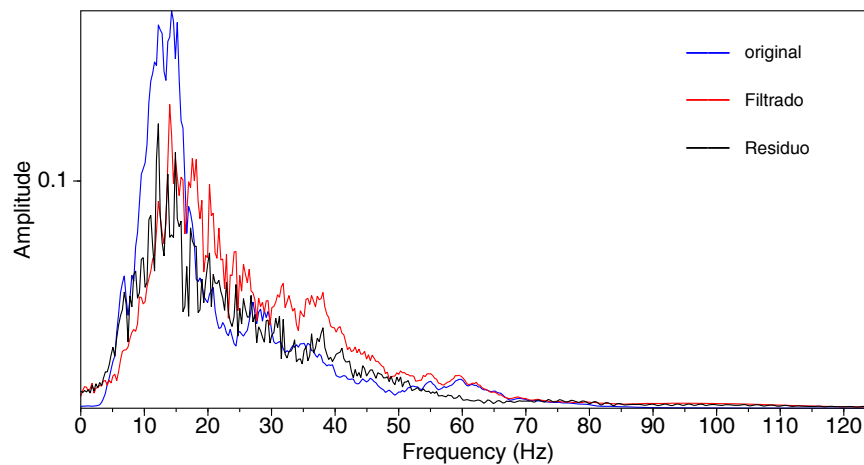


Figura 3.23: Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das cinco primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.

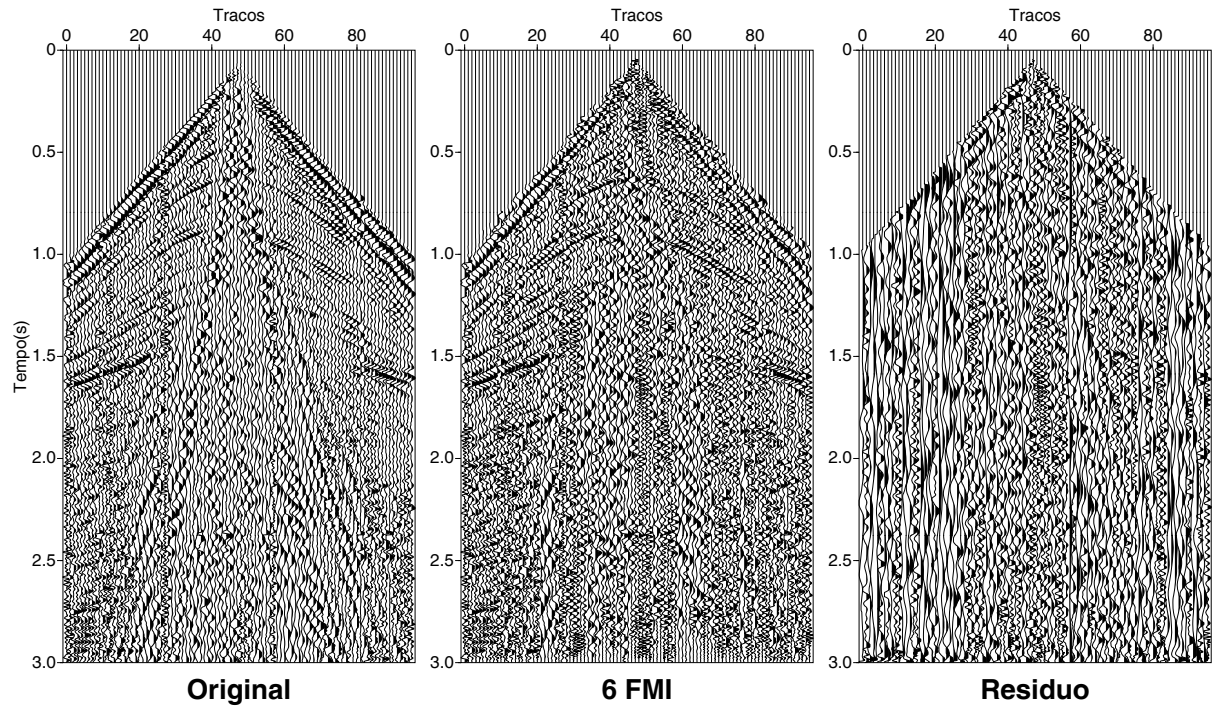


Figura 3.24: Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das seis primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.

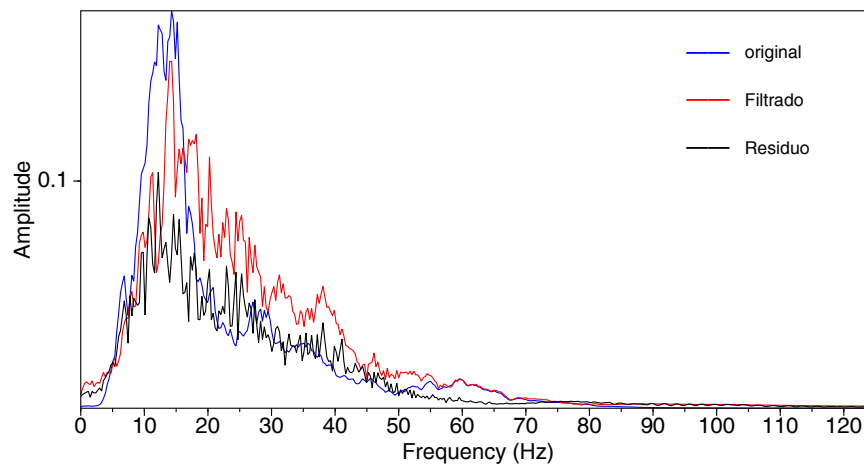


Figura 3.25: Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das seis primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.

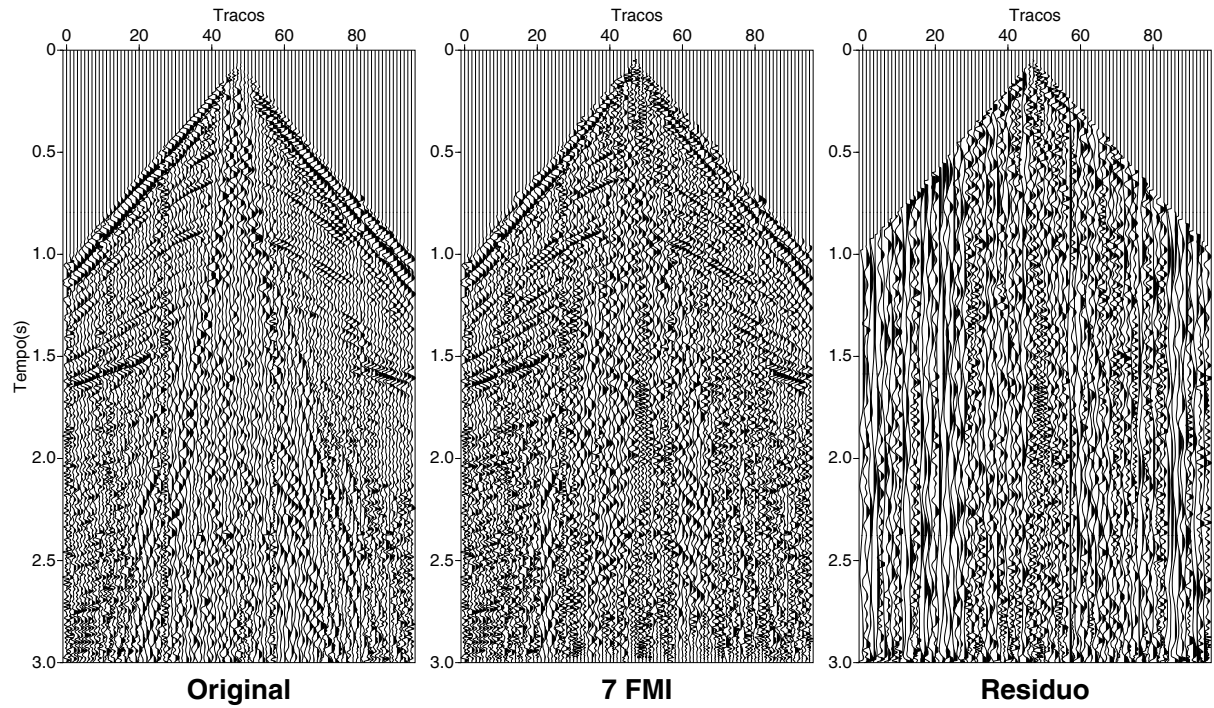


Figura 3.26: Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das sete primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.

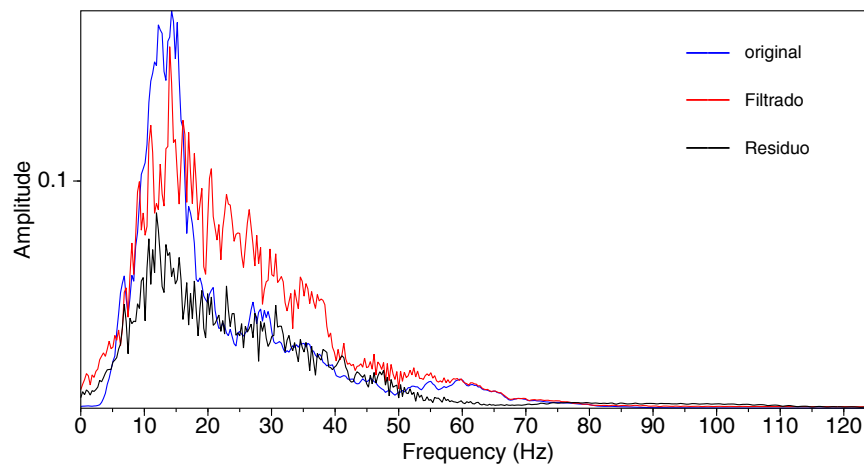


Figura 3.27: Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das sete primeiras FMIs, o dado original e o resíduo.

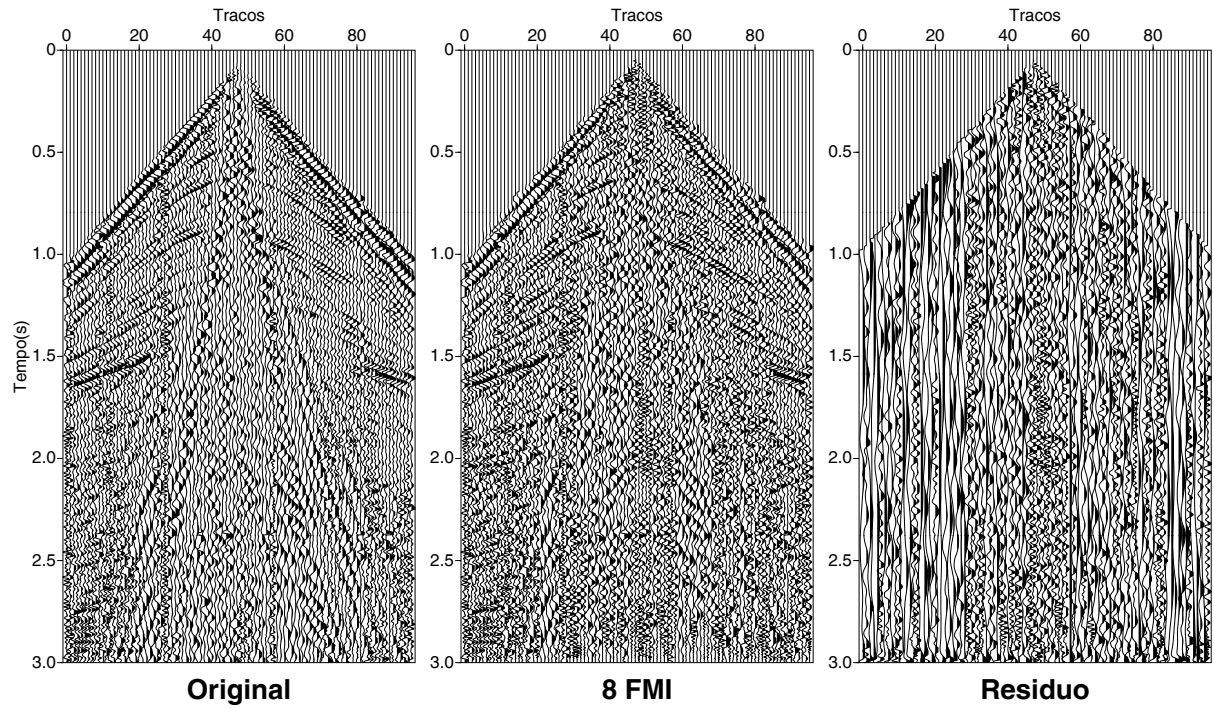


Figura 3.28: Sismograma do tiro 111 do dado original, filtrado com o somatório das oito primeiras FMIs balanceadas e o resíduo.

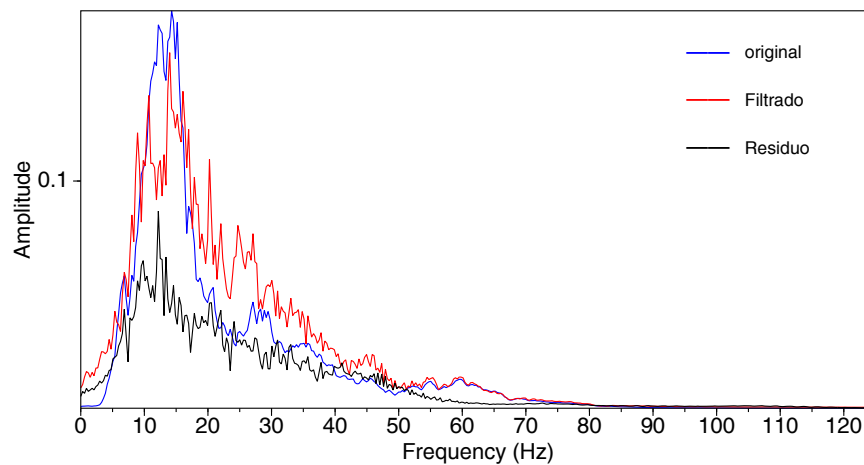


Figura 3.29: Espectro de frequência do dado filtrado com o somatório das oito primeiras FMIs balanceadas, o dado original e o resíduo.

4 primeiras FMIs.

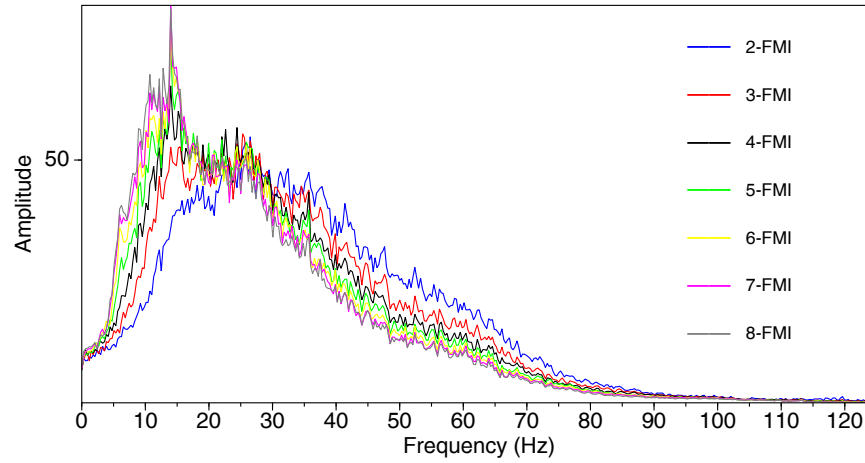


Figura 3.30: Espectro de frequência do dado das oito FMI's extraídas.

Desta forma, iremos prosseguir as demais etapas do processamento utilizando o dado filtrado com as 4 primeiras FMIs com Balanceamento.

CAPÍTULO 4

Processamento Avançado

A aplicação do método DME no domínio do tempo é simples e consiste em decompor cada traço em FMIs mais resíduo, cada FMI indica uma frequência característica, e cabe ao processador avaliar e adotar as faixas de frequências que melhor se ajustam aos objetivos de atenuação do ruído. Na etapa de filtragem foram extraídas quatro FMIs, das quais as duas primeiras foram escolhidas para compor o dado filtrado (Figura 3.18).

Afim de testar a eficiência do método de Decomposição em Modos Empíricos aliada ao Balanceamento Espectral na filtragem do *ground roll*, daremos continuidade do fluxograma da Figura 3.4.

4.1 Análise de Velocidades

O objetivo da análise de velocidade é obter a velocidade ideal, na qual possa horizontalizar as reflexões hiperbólicas do sismograma. O resultado obtido a partir desta horizontalização aperfeiçoa o empilhamento, gerando uma seção empilhada com maior confiabilidade para interpretação. Esta etapa pode ser realizada diversas vezes dentro do fluxograma de processamento, a fim de garantir o aperfeiçoamento dos resultados.

Segundo o (Yilmaz) a estimativa da velocidade pode ser afetada negativamente por diversos fatores. No caso da Bacia do Tacutu, o grau de cobertura é o que mais influencia. Porém o comprimento do lanço (afastamentos máximo e mínimo); Silenciamento; Comprimento das janelas de análise em tempo; O tipo de coerência empregada; Faixa de frequência dos dados; Conhecimento da geologia, também são fatores que precisam ser levados em conta.

No *Seisspace* realizamos a análise de velocidade a partir da aplicação do módulo *Velocity Analysis*, onde a busca da melhor velocidade é realizada a partir da análise de coerência. O *semblance* é organizado por um painel de coerência, a seção CMP e o painel CVS (*constant velocity stack*), onde as velocidades são escolhidas nos painéis de coerência e cada pick reflete no outro painel.

Com o propósito de verificar a eficácia do método de filtragem utilizado neste trabalho,

elaborou-se *semblances* para comparar a maior coerência obtida a partir da Decomposição em Modos Empíricos combinada com o Balanceamento Espectral. Como a cobertura CMP da linha 050-RL-086 do Tacutu é relativamente baixa, foi necessário se elaborar *supergathers* para uma maior precisão da análise.

Desta forma, a partir das Figuras conclui-se que, o *semblance* obtido após a filtragem apresenta uma maior coerência e o aumento da razão sinal/ruído é evidente devido a atenuação significativa do *ground roll*. Com isso, tem-se um realce das reflexões ao qual facilita a escolha das velocidades.

O módulo *Velocity Viewer/Point Editor* gera o campo de velocidade RMS a partir da interpolação linear dos resultados das análises de velocidade.

4.2 Correção NMO

Após a análise de velocidade aplica-se a correção NMO, na qual tem como objetivo corrigir os deslocamento causados pelo afastamento fonte-receptor.

A partir de um modelo geológico constituído por uma camada horizontal na qual possui velocidade constante, podemos atestar que teremos um refletor hiperbólico devido ao afastamento. Logo, a correção NMO, propõe estabelecer um modelo no qual o ponto de tiro e a estação de geofones ocupassem a mesma posição, ou seja, afastamento nulo.

A correção NMO realiza o deslocamento do traço registrado para cima de modo que o sobretempo dos intervalos de afastamento seja minimizado. Ou seja, o registro das informações estão a um mesmo nível, admitindo o afastamento fosse nulo. Para um modelo de refletores plano paralelos, a correção NMO é calculada pela equação 4.1.

$$\Delta t = \sqrt{t_o^2 + \left(\frac{x}{v}\right)^2} \quad (4.1)$$

Na qual, v é a velocidade estimada, t_o é o tempo duplo de trânsito na posição $x=0$ (ápice da hipérbole) e x é o afastamento fonte-receptor.

A partir da equação acima conclui-se que, a análise NMO depende da velocidade VNMO obtida a partir da análise de velocidade. Logo, é necessário que se tenha realizado uma análise de velocidades bastante criteriosa, já que, ao se aplicar uma velocidade (VNMO) maior que a velocidade do meio, o evento fica subcorrigido. Caso contrário, para uma velocidade (VNMO) menor do que a velocidade do meio, o evento fica sobrecorrigido.

Para aplicação da correção NMO no *SeisSpace* utiliza-se o módulo *Normal Moveout Correction*, no qual, o parâmetro *Stretch mute percentage* é crucial para minimizar o efeito do estiramento do traço.

4.3 Empilhamento

O empilhamento realiza a soma aritmética das amplitudes de cada traço das famílias CMP's. Logo, após a aplicação da correção NMO em cada família CMP todos os traços das famílias CMP são finalmente somados, produzindo um único traço que representa o registro de afastamento nulo na posição de ponto médio CMP (Figura 4.1). Este procedimento é denominado empilhamento CMP.

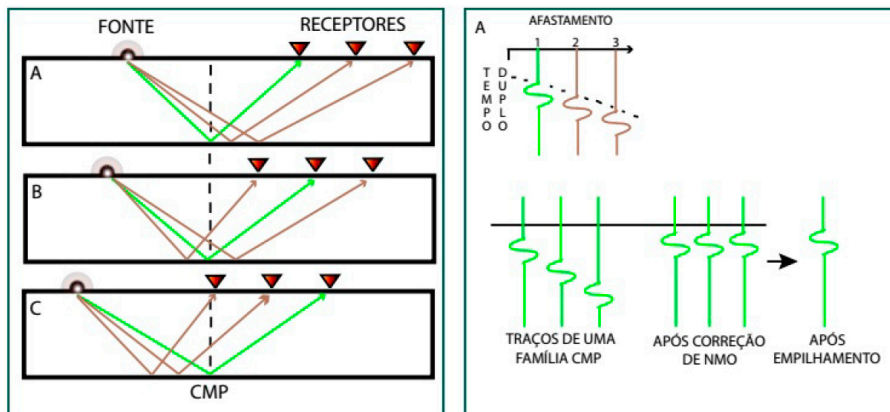


Figura 4.1: Exemplo de empilhamento de dados sísmicos. Modificado de ÁVILA, 2010.

A principal característica do *ground roll* na seção empilhada é apresentar característica na forma de eventos lineares para ambos os lados. A eliminação desses eventos após a filtragem aumenta significativamente a razão sinal/ruído resultando em uma maior resolução temporal e maior continuidade dos refletores.

A seção empilhada sem filtros é apresentada na Figura ?, tem-se uma seção com baixa razão sinal/ruído devido ao *ground roll*, atenuando os refletores gerando um problema de interpretação das estruturas geológicas de interesse.

Já a seção empilhada após aplicar o método DME combinado com o balanceamento espectral, apresenta refletores mais contínuos e com maior razão sinal/ruído.

O *SeisSpace* o empilhamento das famílias CMP é feito utilizando o módulo *CDP/Ensemble Stack*.

A sessão sísmica empilhada com quatro FMIs apresentou uma boa preservação e realce

das reflexões que antes estavam mascaradas pelo *ground roll*. Além de um notável aumento na continuidade das reflexões quando comparada a sessão sísmica empilhada do dado original. Observa-se também a atenuação dos eventos lineares, referentes ao *ground roll*.

4.4 Migração

O principal objetivo da migração é reposicionar os refletores para sua posição correta e colapsar as difrações, a fim de aumentar a resolução espacial e reproduzir a imagem mais próxima possível da imagem de subsuperfície. O reposicionamento dos refletores é necessário para corrigir os efeitos de estruturas complexas, que incluem refletores mergulhantes, falhas e outras complicações geológicas aos dados já empilhados é denominado migração pós-empilhamento. A migração pós-empilhamento migra todos os traços CMP empilhados, o que significa em uma quantidade de traços reduzida e menos tempo de computação do que a migração pré-empilhamento já que a mesma migra todos os traços de todos os tiros.

A migração *Kirchhoff* se baseia na soma de amplitudes das curvas de tempo de trânsito de difração. Tal método incorpora os fatores de divergência esférica, de obliquidade e de mudança de fase inerente as fontes secundárias de *Huygens*.

Neste trabalho foi utilizada a migração *Kirchhoff* pós-empilhamento, através do módulo *Kirchhoff Time Mig*. É necessário que sejam incorporados o campo de velocidade, a abertura do operador que se relaciona com a distância máxima do espalhamento da energia e o ângulo de migração.

A seção resultante não apresentou resultados satisfatórios, pois o ruído derivado da Migração (*smiles*) camuflaram as reflexões entre 2 e 3 segundos.

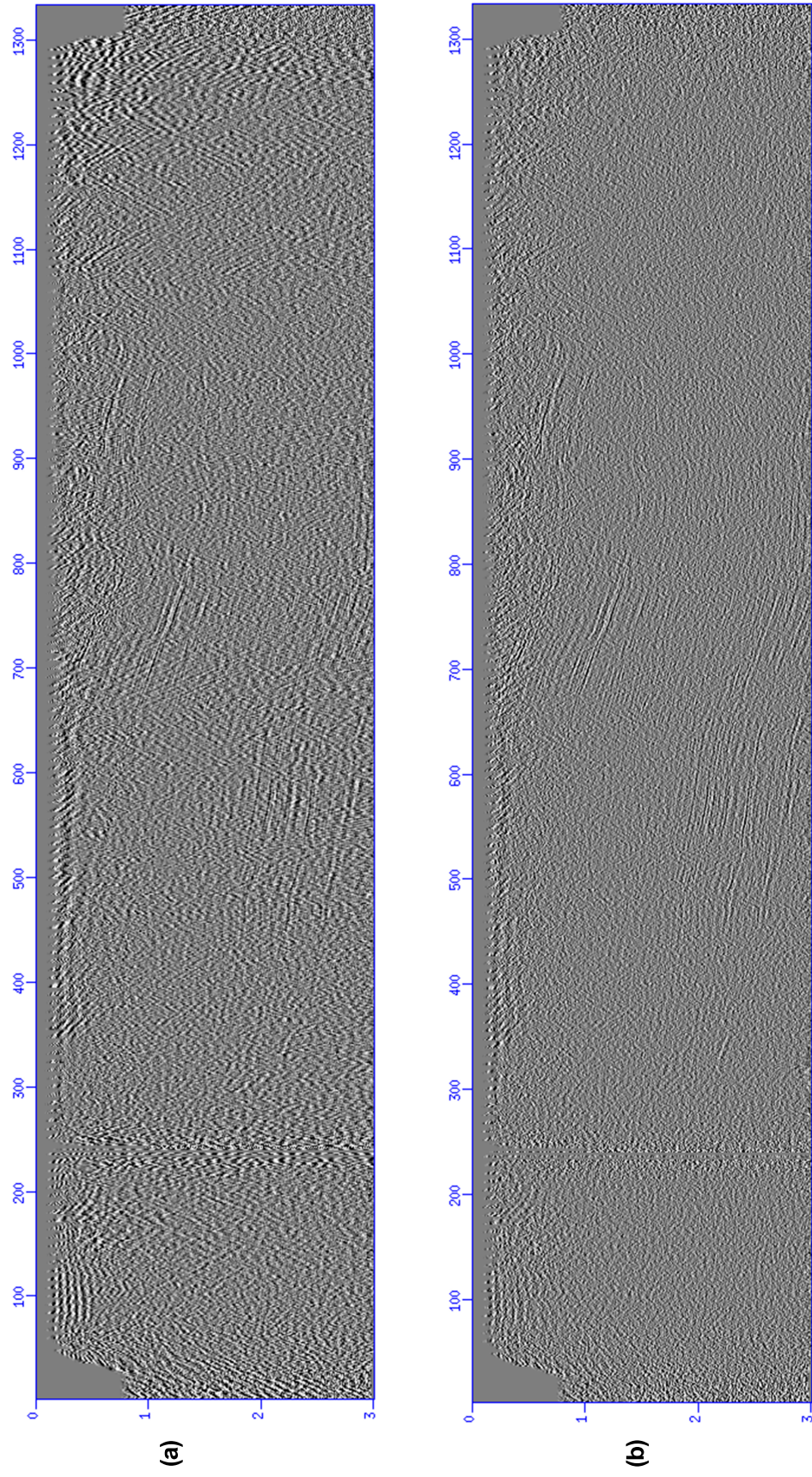


Figura 4.2: Seção empilhada completa do dado original em (a) e do dado filtrado com o método DME combinado ao Balanceamento Espectral em (b)

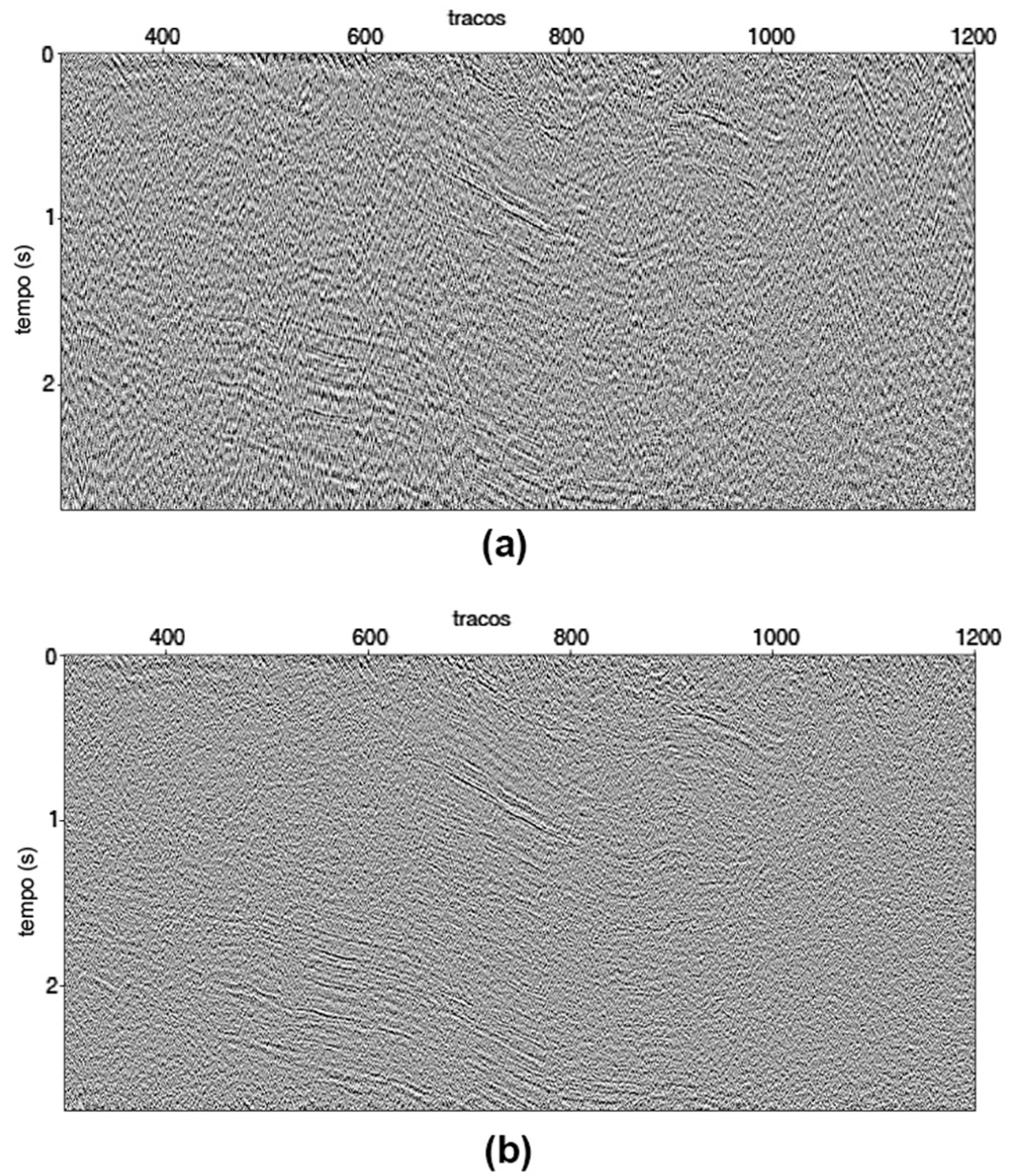
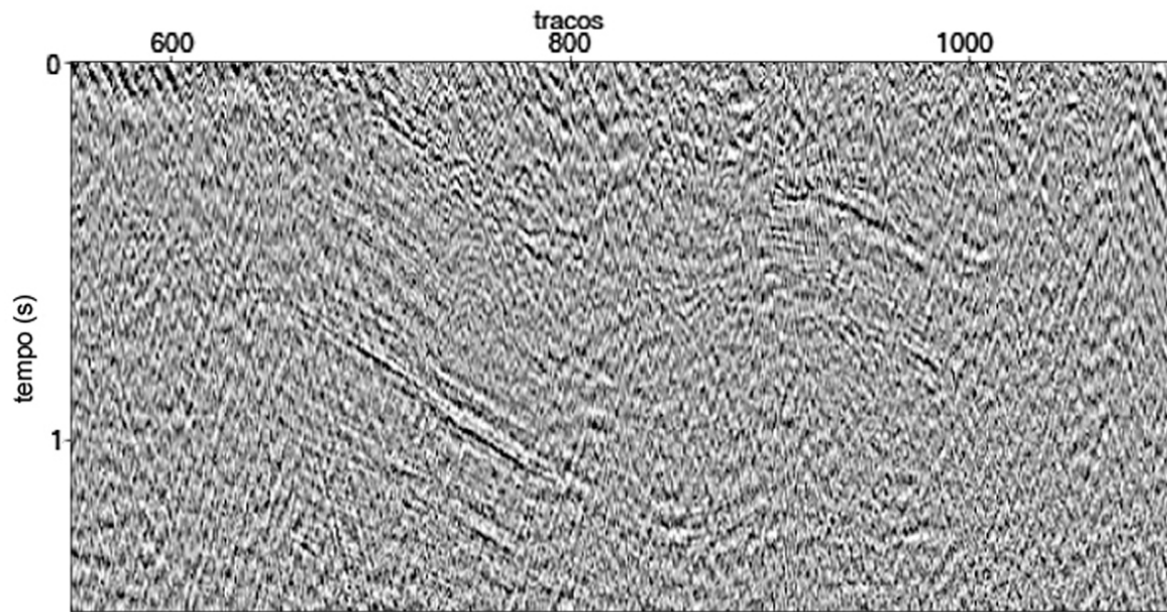
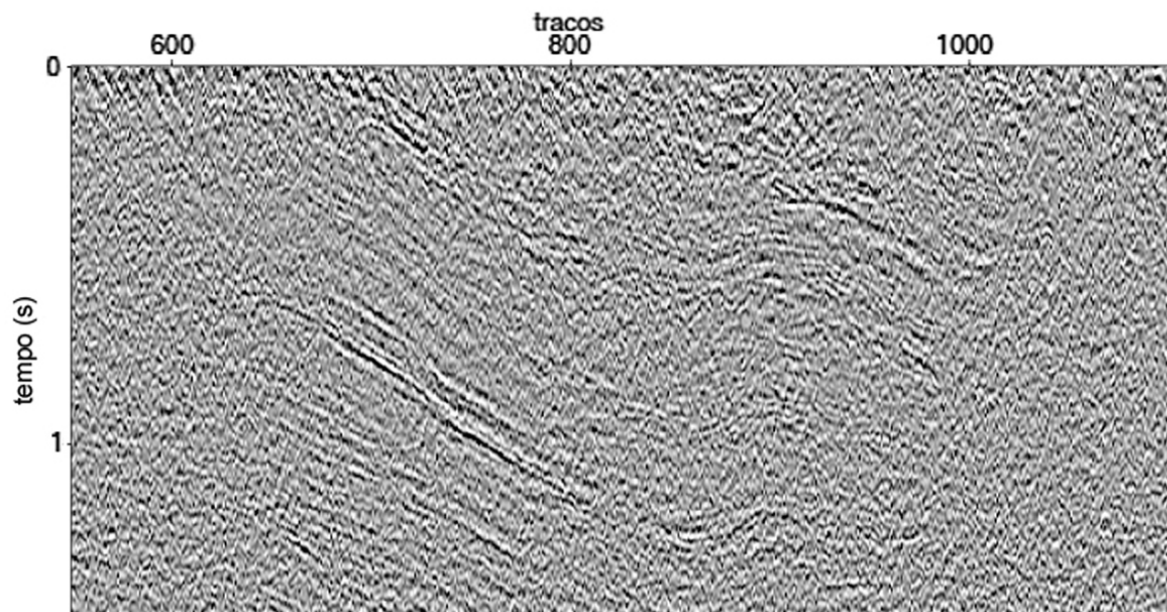


Figura 4.3: Trecho da seção empilhada do dado original em (a) e do dado filtrado com o método DME combinado ao Balanceamento Espectral em (b).



(a)



(b)

Figura 4.4: Trecho da seção empilhada do dado original em (a) e do dado filtrado com o método DME combinado ao Balanceamento Espectral em (b).

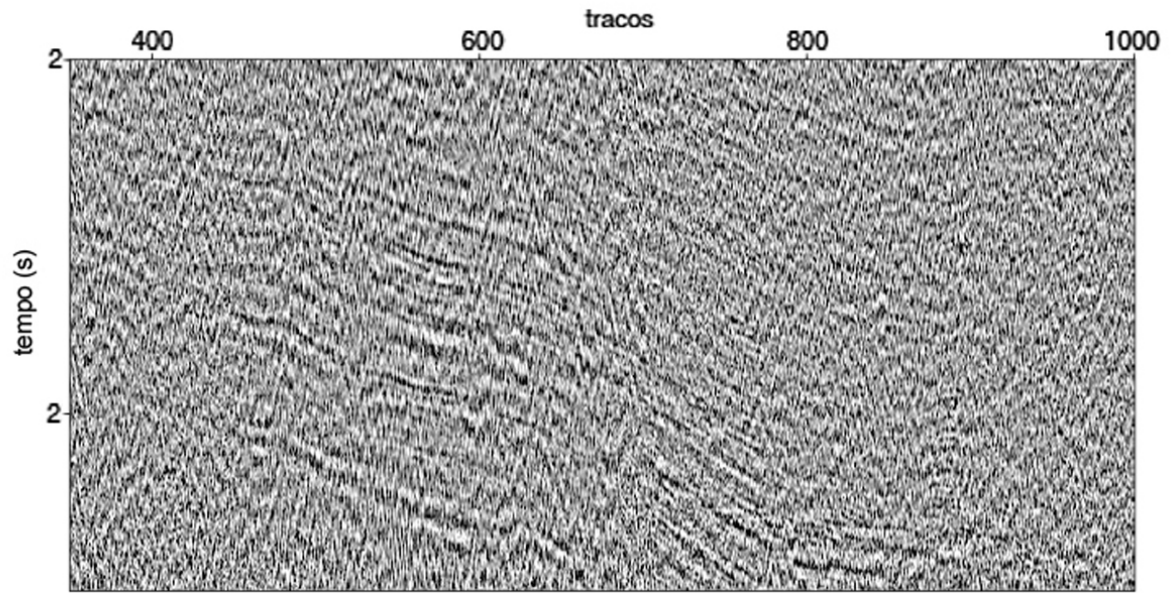
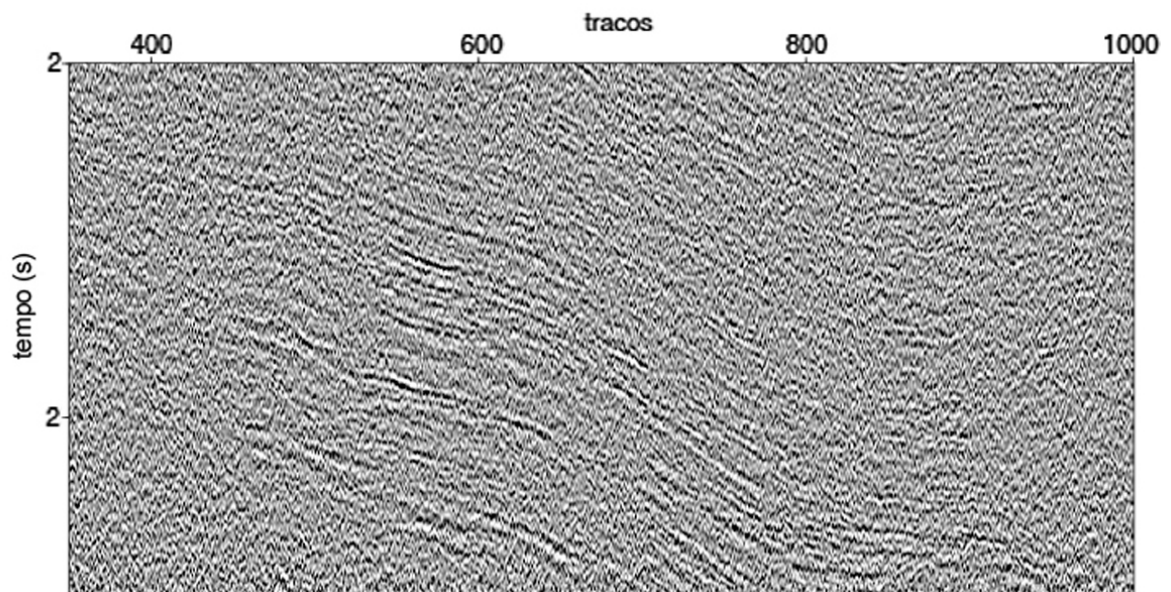
**(a)****(b)**

Figura 4.5: Trecho da seção empilhada do dado original em (a) e do dado filtrado com o método DME combinado ao Balanceamento Espectral em (b)

CAPÍTULO 5

Conclusões

Este trabalho teve como principal objetivo apresentar a funcionalidade e a eficácia da técnica de Decomposição em Modos empíricos (DME). Visando a atenuação de ruídos coerentes presentes no dado. Tal técnica se mostrou bastante eficiente ao suavizar ruídos como o *ground roll* que antes, mascaravam as reflexões.

Neste caso, foi proposta a aplicação do método de Balanceamento Espectral combinado com a técnica de DME. Tal combinação proporcionou uma boa alternativa na filtragem de eventos lineares e para melhoria da razão sinal/ruído. Além disso, houve melhorias significativas nas continuidades e na resolução das reflexões, quando obtivemos o dado empilhado.

A DME é um método de suavização, logo, é necessário que se escolha as funções de modo intrínseco (FMI's) adequadas, para que sejam eliminadas as componentes de frequências indesejáveis e sejam conservadas as faixas de frequências referentes as bandas de sinal de interesse. A combinação desses métodos revelou as reflexões que antes se encontravam mascaradas pelo ruído coerente.

Os resultados obtidos mostram a eficiência da filtragem para um sismograma com fortes ruídos, onde as possíveis reflexões não foram afetadas e as médias que foram subtraídas do dado não se afastam da velocidade definida como ruído. O método, além da facilidade de aplicação, possibilita uma flexibilidade de construção dos filtros, com adoção de diferentes porcentagens de atenuação. Logo, conclui-se que, as seções sísmicas filtradas com a combinação de tais métodos geraram refletores susceptíveis à interpretação geológica.

Agradecimentos

Este trabalho é dedicado especialmente a minha família. Que em 2011 apoiaram minha ideia, debatida durante um almoço, de fazer um vestibular nem um pouco tradicional para a época, o ENEM. Hoje, estou me formando no curso que eu sempre quis, graças a essa decisão e ao apoio deles.

Ao meu pai, por ser minha referência de profissional, professor, pesquisador. À minha mãe, pelo companheirismo diário, amizade, amor incondicional. À meus avós, por estarem sempre presentes na minha vida, memória e infância. À minha Dinda, que é minha segunda mãe, minha amiga, saiba que, sempre quis ser igual a você. Ao meu presentinho, Luiza, você é a luz desta família.

Ao meu primeiro grande passo, o Bacharel em Ciência e Tecnologia, ao qual construiu em mim, uma visão ampla e um pensamento critico/científico acerca da minha vida como um todo. Aos meus queridos amigos, que tornaram esses 3 anos inesquecíveis.

A Tarlem, por estar, mesmo a distância, sempre se fazendo presente. Por cada momento, cada aprendizado, pela paciência, compreensão, companheirismo e amor.

Agradeço ao meu professor querido e inesquecível, André Mattedi, pelos conselhos, apoio, amizade e dedicação desde meu primeiro dia na UFBA.

Ao meu grande amigo Leonardo, que está me acompanhando nesta jornada desde 2012, com seus ensinamentos, apoio e amizade. Saiba que o seu silêncio sempre respondeu meus questionamentos.

Agradeço também ao meu orientador Porsani que ajudou a tornar esse trabalho uma realidade e a todos professores que passaram por minha vida.

Michelangelo que, além de ter me auxiliado, se tornou um amigo no meio desta jornada em Geofísica.

Ao meu grupo de pesquisa NProS, ao qual me ensinou tudo que eu sei sobre processamento sísmico.

Ao CPGG-UFBA e pelo oferecimento de condições para a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Alves, F. M. (2015) Aplicações do Método de Decomposição em Modos Empíricos e da Filtragem SVD na Atenuação de Ruídos em Dados Sísmicos de Reflexão, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador-Ba.

Amorim, F. Z. (2009) Atenuação de ruídos coerentes utilizando Decomposição em Modos Empíricos, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

Antônio, S. J. (2013), Aplicações do método de Decomposição em Modos Empíricos no processamento de Dados Sísmicos Marítimos, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador-Ba.

Ariza (2016), Decomposição, filtragem adaptativa e balanceamento espectral do sinal sísmico usando operadores binomiais, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA.

Ferreira, L. E. S. (2010) Aplicação do método de Decomposição em Modos Empíricos na atenuação do ruído de rolamento em dados sísmicos, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador-Ba.

Huang, N. E.; Shen, Z.; Long, S. R.; Wu, M. C.; Shih, H. H.; Zheng, Q.; Yen, N. C.; Tung, C. C. e Liu, H. H. (1998) The empirical mode decomposition and hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series, Royal Society London.

Porsani, M. J. (2009) Notas e códigos fortran 90 sobre dme e interpolação, Notas de aula.

Silva, M.G. 2004. Processamento de Dados Sísmicos da Bacia do Tacutu. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

Souza, W. E. (2015) Processamento CMP de Dados Sísmicos Levantados no Norte da Bacia do São Francisco.

Shepard, D. (1968) A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data, ACM national conference.

Vatchev, V. (2002) The analysis of the empirical mode decomposition method.

Wanderley Filho, J. R., Bender, A. A., Eiras, J. F., Barbosa Filho, C. M. (2001). Quantificação 3D da evolução termal da Bacia do Solimões e suas implicações petrolíferas.

VII Simpósio de Geologia da Amazônia; CD-ROM, Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte.

Yilmaz, O. 2001. Seismic Data Analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data, Society of Exploration Geophysicists - SEG, Tulsa.