

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

FABRÍCIO ORNELLAS LOUREIRO

ANÁLISE DA GEOMETRIA E CORREÇÃO ESTÁTICA NO PROCESSAMENTO  
SÍSMICO 3D

NITERÓI

2013

FABRÍCIO ORNELLAS LOUREIRO

ANÁLISE DA GEOMETRIA E CORREÇÃO ESTÁTICA NO PROCESSAMENTO  
SÍSMICO 3D

Trabalho de conclusão de curso submetido ao programa de graduação em geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em geofísica.

Orientador: Dr. Rogério de Araújo Santos

NITERÓI

2013

FABRÍCIO ORNELLAS LOUREIRO

ANÁLISE DA GEOMETRIA E CORREÇÃO ESTÁTICA NO PROCESSAMENTO  
SÍSMICO 3D

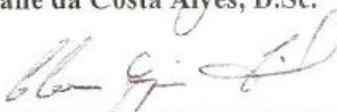
Trabalho de conclusão de curso submetido ao programa de graduação em geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em geofísica.

Aprovado em: 01/04/2013

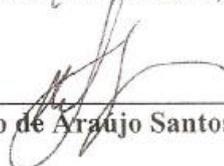
**Banca Examinadora:**



Eliane da Costa Alves, D.Sc.



Cleverson Guizan Silva, D.Sc.



Rogério de Araujo Santos, D.Sc.

NITERÓI

2013

## **Agradecimentos**

A empresa Strataimage *Geophysics* Ltda pela autorização da licença do programa *Vista Seismic Data Processing 9.0* e a ANP pelos dados sísmicos cedidos para o trabalho.

Aos professores do Lagemar/UFF e em especial aos que compõem a banca examinadora. Aos amigos que fiz na universidade que fizeram 5 anos longe de casa valerem a pena.

## RESUMO

O trabalho aplica técnicas de processamento em dados sísmicos 3D adquiridos na área emersa da Bacia Potiguar e procura analisar os resultados. Primeiramente foi descrito o método sísmico e as etapas do processamento. Nas explicações das técnicas de processamento utilizou-se dados sísmicos do programa *Vista Seismic Data Processing*. O processamento foi dividido em três etapas: geometria, correção estática e seção sísmica (Filtragem, Análise de Velocidade, Correções de NMO e Amplitude e Empilhamento). Na etapa da geometria procurou-se extrair os parâmetros da aquisição sísmica, identificar através da leitura do EBCDIC as informações contidas nos dados sísmicos e definir a formatação para carregar os dados sísmicos. A correção estática foi dividida em duas partes: estáticas de refração e elevação. Os procedimentos realizados e os parâmetros das duas estáticas foram descritos. Alguns critérios foram utilizados para analisar os resultados, com o objetivo de interpretar a coerência do processamento aplicado. Por último tentou-se obter a seção sísmica, que seria utilizada como critério de avaliação das etapas de geometria e correção estática.

Palavras chaves: *Seg-Y*, geometria e correção estática.

## **ABSTRACT**

This work applies techniques of processing 3D seismic data acquired in the area of onshore Potiguar Basin and analyzes the results. We first described the method and seismic processing steps. The explanations of the processing techniques were done using seismic data of *Vista Seismic Data Processing*. The process was divided into three stages: geometry, static correction and seismic section (Filtering, Velocity Analysis, and Amplitude Corrections NMO and Stack). In geometry were extracted the parameters of seismic acquisition, identified information by reading EBCDIC's seismic data and set the formatting to load the seismic data. Static correction was divided into two parts: static refraction and elevation. The procedures performed and the parameters of the both statics were described. Some criteria were used to analyze the results in order to interpret the consistency of processing applied. Finally was attempted to obtain the seismic section, which would be used as a criterion for evaluating the steps of geometry and static correction.

Key-words: Seg-Y , geometry and static correction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de Processamento.....	11
Figura 2: Localização e arcabouço estrutural da Bacia Potiguar (Fonte: Fundação Phoenix). 12	12
Figura 3: Carta Estratigráfica da Bacia Potiguar (Fonte: Fundação Phoenix) .....	14
Figura 4: Sismograma (Fonte: USP - Disciplina de Sísmica). .....	15
Figura 5: a) Onda P, b) Onda S (Fonte: Kearey <i>et al.</i> , 2002). .....	16
Figura 6: a) Onda Rayleigh, b) Onda Love (Fonte: Kearey <i>et al.</i> , 2002). .....	17
Figura 7: Lei de Snell (Fonte: fisikanarede.com). .....	18
Figura 8: Cubo Sísmica 3D (esquerda). Seção Sísmica 2D (direita). <i>TIME</i> : tempo duplo (ms). .....	19
Figura 9: Aquisição Sísmica Terrestre 2D - Deslocamento Fonte/Receptor.....	19
Figura 10: Ponto Médio Comum. Cobertura = 4 (Fonte: Kearey <i>et al.</i> , 2002). .....	20
Figura 11: Estrutura do Seg-Y (Extraído e modificado de Norris, M & Faichney, A., 2001) .21	21
Figura 12: EBCDIC do Seg-Y (Fonte: de Norris, M & Faichney, A., 2001). .....	22
Figura 13: As trajetórias e os tempos de chegada para ondas refletida, direta e refrata para um modelo de duas camadas sedimentares. $X_{\text{cros}}$ : distância de cruzamento. $X_{\text{crit}}$ = distância crítica. $T_0$ = tempo de percurso para onda que incide verticalmente (Fonte: Kearey <i>et al.</i> , 2002) . ....	25
Figura 14: Gráfico F-K com os locais onde encontram-se os ruídos e o sinal refletido. $k$ é o número de onda e $f$ a frequência. (Fonte: Kearey <i>et al.</i> , 2002) . .....	27
Figura 15: A) Polígono de rejeição aplicado no plano ( $f$ , $k$ ). B) <i>Ground Roll</i> removido do dado de entrada. C) Dado de entrada. D) Dado sísmico após o processamento. E) <i>Ground Roll</i> . <i>Time</i> : tempo duplo (ms). .....	28
Figura 16: Análise de Velocidade. <i>Semblance</i> (esquerda). Ordenação em CMP (central). CVS (direita). Os picos em verde apresentam mais coerência comparados a área em azul. ( <i>Velocity</i> : velocidade. <i>Offset</i> : espaçamento. FT/S: pés/s. <i>Time</i> : tempo duplo (ms)). .....	29
Figura 17: Correção NMO. Após o processamento (esquerda) e antes (direita). .....	31
Figura 18: Marcação da Primeira Quebra. <i>Shot</i> : Tiro. ABSOFF: espaçamento fonte/receptor. <i>Time</i> : tempo duplo (ms). .....	32
Figura 19: Modelo da ZBV. <i>Field Station</i> : estações. Vel: Velocidade (m/s). <i>Elevation</i> : elevação (m) . <i>Fixed Datum</i> : Datum fixo (linha pontilhada em azul). .....	33
Figura 20: Comportamento das Correções das Estáticas de Refração (Vermelho) e Elevação (Azul). .....	34

Figura 21: Sismograma com correção estática (refração e elevação). O sismograma sem correção estática encontra-se na figura X. <i>Shot</i> : Tiro. <i>ABSOFF</i> : espaçamento fonte/receptor. <i>Time</i> : tempo duplo (ms). Domínio do tiro.....	35
Figura 22: Fluxograma da geometria.....	36
Figura 23: Fluxograma da correção estática.....	37
Figura 24: Fluxograma da seção sísmica.....	37
Figura 25: Levantamento - Swath32. Estações: preto. Tiros: amarelo.....	39
Figura 26: Tiro SE (esq.) e Tiro NW (dir.). Estações: preto. Tiro: amarelo. ....	40
Figura 27: Cabeçalho do traço sísmico (REC: Receptor. X,Y e Z: Coordenadas Geográficas. Trace: Traço Sísmico. <i>Field Station Number</i> : Numeração das Estações. <i>ReceiverLine Number</i> : Numeração da Linha de Receptor). ....	42
Figura 28: Sismograma no domínio do tiro ordenado segundo o espaçamento fonte-receptor: <i>Seg-Y Header Seismic (IBM)</i> . <i>TIME</i> : Tempo duplo(ms). O gráfico em vermelho representa o espaçamento fonte-receptor (m). ....	43
Figura 29: Sismograma no domínio do tiro ordenado segundo o espaçamento fonte-receptor: <i>Seg-Y</i> modificado. <i>TIME</i> : Tempo duplo (ms). O gráfico em vermelho representa o espaçamento fonte-receptor (m). ....	44
Figura 30: quebra (Verde). Sismograma no domínio do tiro ordenado segundo o espaçamento fonte-receptor. <i>TIME</i> : Tempo duplo (ms). O gráfico em vermelho representa o espaçamento fonte-receptor (m).....	45
Figura 31: Definição do Modelo da ZBV. As 20 áreas delimitadas a esquerda. As primeiras quebras dos tiros contidos na circunferência amarela encontram-se a direita. ( <i>Time</i> : tempo (ms). <i>Offset</i> : espaçamento fonte-receptor (m)). ....	46
Figura 32: Correções da estática de refração(Tiro SE). <i>STATIC_REFRACTION_TOTAL</i> : Correção de Estática de Refração. <i>RECV_SEQUENCE_NUMBER</i> : Numeração da sequência de receptores. ....	47
Figura 33: Correções da estática de elevação (Tiro NW). <i>STATIC_REFRACTION_TOTAL</i> : Correção de Estática de Refração. <i>RECV_SEQUENCE_NUMBER</i> : Numeração da sequência de receptores. ....	48
Figura 34: Correções da estática de refração (Tiro NW). <i>STATIC_REFRACTION_TOTAL</i> : Correção de Estática de Refração. <i>RECV_SEQUENCE_NUMBER</i> : Numeração da sequência de receptores. ....	49

Figura 35: Correções da estática de elevação (Tiro NW). <i>STATIC_REFRACTION_TOTAL</i> : Correção de Estática de Refração. <i>RECV_SEQUENCE_NUMBER</i> : Numeração da sequência de receptores. ....	49
Figura 36: Sismograma linha 393 antes(esq.) e depois(dir.) da correção estática (Tiro SE). RL = linhas de receptores. <i>RECVSE</i> = Numeração da sequência de receptores. <i>TIME</i> : Tempo (ms).....	50
Figura 37: Sismograma linha 409 antes(esq.) e depois(dir.) da correção estática (Tiro SE). RL = linhas de receptores. <i>RECVSE</i> = Numeração da sequência de receptores. <i>TIME</i> : Tempo (ms).....	51
Figura 38: Sismograma linha 393 antes(esq.) e depois(dir.) da correção estática (Tiro NW). RL = linhas de receptores. <i>RECVSE</i> = Numeração da sequência de receptores. <i>TIME</i> : Tempo (ms).....	52
Figura 39: Sismograma linha 409 antes(esq.) e depois(dir.) da correção estática (Tiro SE). RL = linhas de receptores. <i>RECVSE</i> = Numeração da sequência de receptores. <i>TIME</i> : Tempo (ms). Os traços sísmicos em vermelho correspondem a outra linha e foram removidos para melhorar a visualização. ....	52
Figura 40: Polígono de rejeição no plano (f, k) (Área hachurada). Domínio da fonte. Frequency: Frequência Hz. Cycles/KM: Ciclos/KM. ....	53
Figura 41: Dado de sísmico de entrada antes (Esq.) e após a aplicação do filtro F-K (Dir). Sismograma no domínio do tiro. <i>TIME</i> : tempo duplo (ms). ....	53
Figura 42: : Polígono de rejeição no plano (f, k) (Área hachurada). Domínio do Receptor. Frequency: Frequência Hz. Cycles/KM: Ciclos/KM. ....	54
Figura 43: Sismograma antes (Esq.) e após o Filtro F-K (Dir.) Sismograma no domínio do receptor. <i>TIME</i> : tempo duplo (ms). ....	54
Figura 44: Análise de Velocidade. <i>Semblance</i> (Esq.) e Ordenação em CMP (Dir). Time: Tempo duplo (ms). ....	55
Figura 45: Cubo Sísmico. Time: Tempo duplo (ms).....	56

## Sumário

1	Introdução.....	11
2	Bacia Potiguar .....	12
2.1	<i>Rift</i> I e II.....	12
2.2	<i>Pós-Rift</i> .....	13
2.3	<i>Drift</i> .....	13
3	Método Sísmico.....	15
3.1	Ondas de corpo: .....	15
3.2	Ondas superficiais:.....	16
3.3	Fatores naturais/ Lei de Snell.....	17
4	Aquisição Sísmica .....	19
4.1	Aquisição Sísmica Terrestre (2D/3D).....	19
4.2	Ponto Médio Comum (CMP).....	20
4.3	Parâmetros .....	20
4.4	<i>Seg-Y</i> .....	21
4.5	Geometria.....	22
4.5.1	Numeração do tiro, .....	22
4.5.2	Coordenadas geográficas do tiro, .....	22
4.5.3	Coordenadas geográficas da estação, .....	22
4.5.4	Numeração da linha de receptores onde a estação está inserida,.....	22
4.5.5	Numeração da estação onde está alocado o receptor.....	22
5	Processamento Sísmico .....	24
5.1	Correção Estática .....	25
5.2	Correção de Amplitude .....	26
5.3	Filtragem F-K .....	27
5.4	Análise de velocidade .....	28
5.5	Correção de Sobretempo Normal (NMO).....	30
5.6	Empilhamento .....	31
5.7	Parâmetros e Procedimentos da Correção Estática.....	31
5.7.1	Estática de Refração .....	32
5.7.2	Estática de Elevação .....	33
5.8	Análise dos resultados .....	33
6	Metodologia.....	36
6.1	<i>Vista Seismic Data Processing 9.0</i> .....	36
6.2	Dado Sísmico Terrestre .....	36
6.3	Fluxo de Processamento .....	36
6.3.1	Carregando o <i>SegY/ Geometria</i> .....	36
6.3.2	Correção Estática de Refração e Elevação .....	37
6.3.3	Seção Sísmica.....	37
7	Resultados - Aquisição Sísmica .....	38
8	Resultados - Parâmetros da Aquisição Sísmica.....	41
8.1	Carregando o <i>Seg-Y</i> no <i>Vista Seismic Data Processing 9.0</i> . .....	41
9	Resultados - Correção Estática.....	45
9.1	Primeira Quebra - Datum - Velocidade de Reposição.....	45
9.2	Definição do Modelo .....	45
9.3	Tiro SE.....	47
9.3.1	Estática de refração.....	47
9.3.2	Estática de elevação.....	47
9.4	Tiro NW.....	48

9.4.1	Estática de refração.....	48
9.4.2	Estática de Elevação .....	49
9.5	Aplicação das estáticas de refração e elevação.....	50
9.5.1	Tiro SE.....	50
9.5.2	Tiro NW.....	51
10	Resultados - Filtragem F-K. ....	53
11	Resultados - Análise de velocidade.....	55
12	Resultados - Seção Sísmica .....	56
13	Conclusão .....	57
14	Referências Bibliográficas.....	58

## 1 Introdução

O método sísmico utiliza as ondas sísmicas com o objetivo de mapear a geologia em subsuperfície. Em uma aquisição sísmica os dados adquiridos não correspondem somente as informações desejadas. O processamento sísmico procura eliminar as informações indesejadas para permanecer no registro somente o sinal das ondas refletidas nas camadas sedimentares.

O processamento sísmico bem executado significa uma seção sísmica condizente com a geologia em subsuperfície. O levantamento sísmico feito com os parâmetros errados prejudicará o processamento, pois as operações matemáticas aplicadas podem não conseguir separar os ruídos das ondas refletidas.

Um fluxo de processamento é dividido em etapas. Finalizada cada etapa é fundamental analisar os resultados obtidos e seus benefícios.

Avaliar os parâmetros da aquisição, geometria e as correções estáticas de refração e elevação é o objetivo do trabalho. Os parâmetros da aquisição e a geometria são analisados ao tentar carregar o dado sísmico no *software*. Procura-se executar e interpretar a implementação das correções estáticas de refração e elevação. O fluxo de processamento proposto pelo trabalho é ilustrado na figura 1.

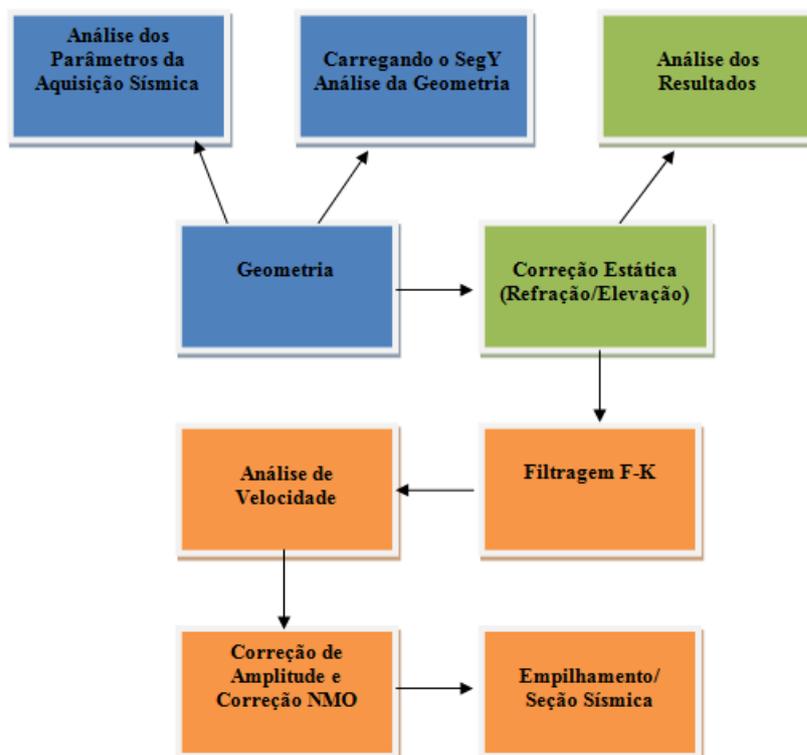


Figura 1: Fluxo de Processamento.

## 2 Bacia Potiguar

A Bacia Potiguar encontra-se parcialmente no estado do Rio Grande do Norte e Ceará e em suas respectivas plataformas continentais. Segundo ANP(2012) a Bacia Potiguar ocupa uma área de 119.300 km<sup>2</sup>, sendo 33.200 km<sup>2</sup> emersa e 86.100 km<sup>2</sup> submersa. O embasamento delimita geologicamente a parte emersa (Sul, Leste e Oeste). O Alto de Touros (Leste) e o Alto de Fortaleza (Oeste) delimitam a porção marinha da bacia.

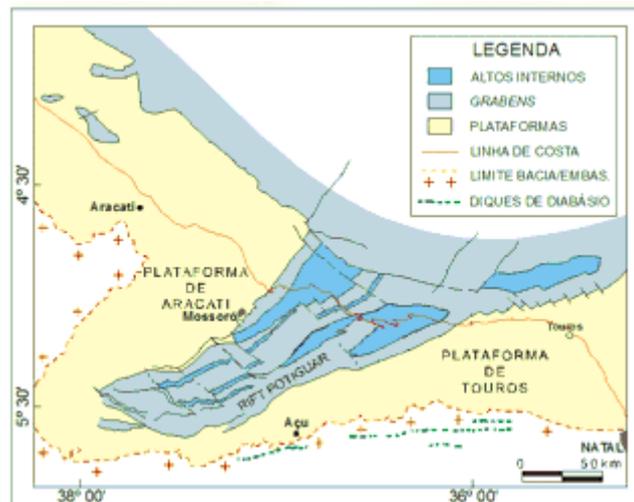


Figura 2: Localização e arcabouço estrutural da Bacia Potiguar (Fonte: Fundação Phoenix).

Dividi-se a evolução geológica da Bacia Potiguar em três fases: *Rift* (I e II), *Pós-Rift* e *Drift* (Pessoa Neto et al.,2007).

### 2.1 *Rift* I e II

A porção emersa da bacia possui um arcabouço estrutural com grabens assimétricos orientados SW-NE, altos estruturais e plataformas (Aracati e Touros) (Figura 1).

Na fase *Rift* I desenvolveu-se os altos estruturais e os grabens assimétricos (SW-NE) sob regime de falhas normais formadas por esforços extensionais do eocretáceo (Separação África-América do Sul). A sedimentação na fase *Rift* I é representada pela formação Pendência, preenchida por depósitos lacustrinos, flúvio-deltaicos e fandeltaicos.

Na fase *Rift* II implantou-se o regime transcorrente/transformante na bacia (Barremiano- Eoaptiano), causando deslocamento do eixo de rifteamento para a porção submersa e elevando a parte emersa. O registro da fase *Rift* II ficou restrito a porção submersa, sendo encontrado na formação Pendência (Barremiano) e Pescada.

## 2.2 *Pós-Rift*

A fase *Pós-Rift* é marcada pela transição dos sistema continental para marinho (Aptiano-Albiano). O regime tectônico é caracterizado por subsidência térmica que sucede a fase *Rift*.

Sistemas flúvio-lacustres dominaram a sedimentação da fase *Pós-Rift*. Os pacotes sedimentares encontram-se depositados sobre uma discordância angular no topo da seção *Rift*. A formação Alagamar representa o estágio de transição do ambiente continental para marinho. Na parte terrestre a formação Alagamar é recoberta pelas formações Açú (arenitos fluvias) e Jandaíra (carbonatos).

## 2.3 *Drift*

A partir do Albiano, o regime tectônico é de baixa subsidência térmica e deriva continental. Estabeleceu-se um ambiente marinho raso, permitindo a formação do sistema plataforma-talude e bacia.

As sequências sedimentares são divididas em dois grupos: Marinhas transgressivas (Eoalbiando-Eocampaniano) e regressivas (Neocampaniano-Holoceno).

A sequência transgressiva é representada pelos sedimentos silicicláticos das formações Açú (proximal), Quebradas (distal) e plataforma carbonática da formação Ponta do Mel. O máximo da transgressão marinha (Cenomaniano-Turoniano) afogou os sistemas fluvias da formação Açú e desenvolveu uma ampla plataforma carbonática (Formação Jandaíra).

Do neocampaniano ao recente, a deposição marinha é regressiva e composta de sedimentos carbonáticos e siliciclástico, de plataforma e talude. Rochas vulcânicas eocênicas e miocênicas da formação Macau são intercaladas no pacote sedimentar.



### 3 Método Sísmico

O método sísmico utiliza as ondas sísmicas para adquirir informações da geologia em subsuperfície. A energia incidente é gerada através de uma fonte artificial (dinamite, *airgun*, *vibroseis*, ...), porém apenas uma pequena fração consegue retornar a superfície após propagar-se pelas rochas. Cada receptor, geofone (superfícies terrestre) ou hidrofone (superfície marinha), origina um traço sísmico e a composição de um ou mais chama-se sismograma (Figura 4).

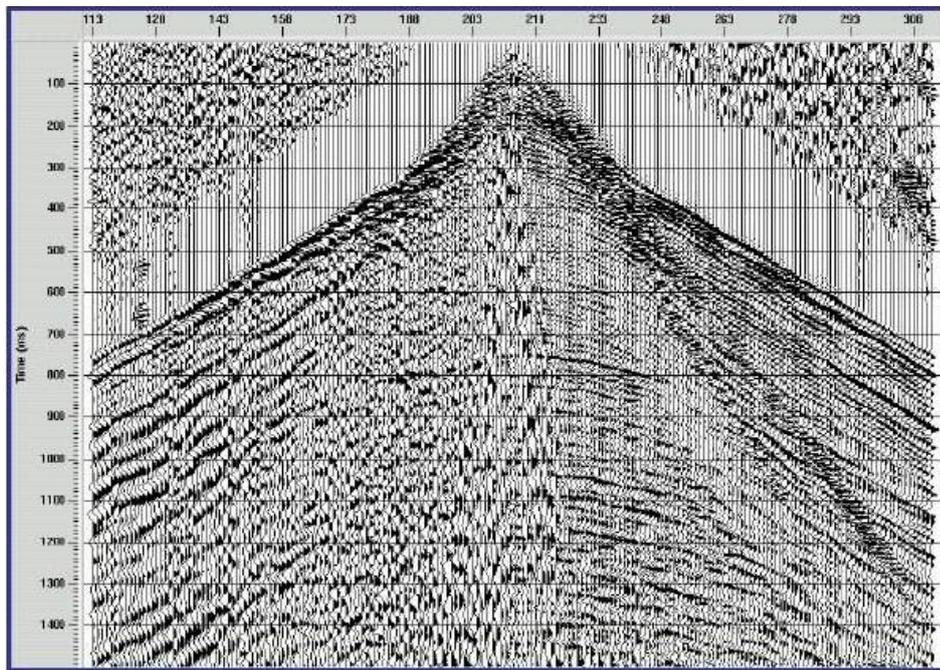


Figura 4: Sismograma (Fonte: USP - Disciplina de Sísmica).

A energia sísmica viaja pela rocha causando perturbação. Após sofrer a deformação, a rocha retorna ao seu estado inicial, caracterizando uma deformação elástica. Assim, as constantes elásticas da rocha determinam a velocidade de propagação das ondas sísmicas, que são divididas em dois grupos (ondas de corpo e volume).

#### 3.1 Ondas de corpo:

Propagam-se através do volume e são de dois tipos (Figura5):

Onda P (compressional): apresenta movimentação da partícula (compressão e expansão) na direção de propagação da onda.

Onda S (cisalhante): apresenta movimentação da partícula na direção perpendicular à direção de propagação da onda.

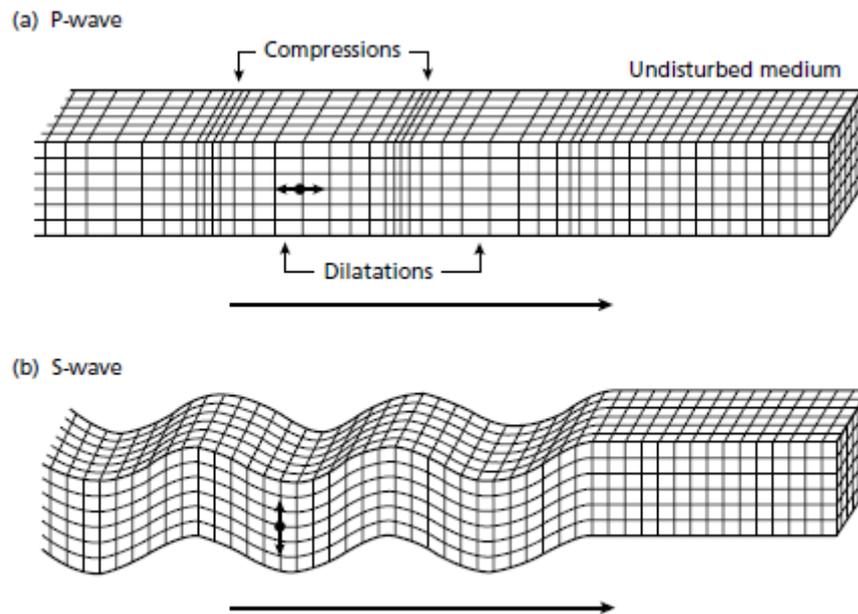


Figura 5: a) Onda P, b) Onda S (Fonte: Kearey *et al.*, 2002).

As velocidades são definidas como:

$$V_p = [(K + (4/3) \mu) / \rho]^{1/2} \quad (3.1.1)$$

$$V_s = [\mu / \rho]^{1/2} \quad (3.1.2)$$

**Legenda:**

**$V_p$**  = velocidade da Onda P

**$V_s$**  = velocidade da Onda S

**K** = módulo de volume

**$\mu$**  = módulo de rigidez

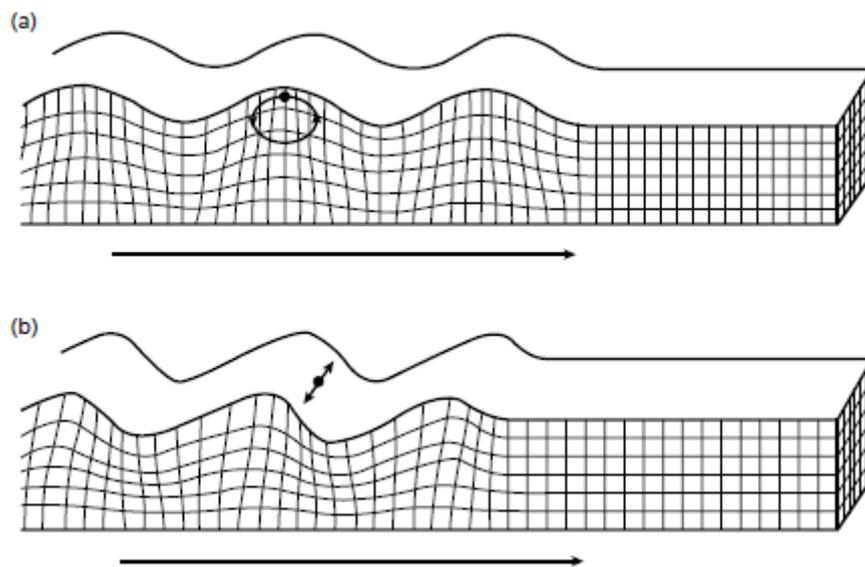
**$\rho$**  = densidade do material

### 3.2 Ondas superficiais:

Propagam-se nas superfícies que limitam um sólido elástico e são de dois tipos (Figura 6).

Onda Rayleigh: A partícula tem movimento elíptico em um plano perpendicular a superfície e contém à direção de propagação da onda.

Onda Love: A partícula tem movimento paralelo a superfície e perpendicular à direção de propagação da onda.



**Figura 6: a) Onda Rayleigh, b) Onda Love (Fonte: Kearey *et al.*, 2002).**

### 3.3 Fatores naturais/ Lei de Snell

O método sísmico procura adquirir a onda P e para alcançar tal objetivo os receptores são posicionados de forma a registrarem o movimento da partícula desejado. As ondas superficiais são consideradas ruídos coerentes, que são induzidos pelo próprio método, e são nomeadas de *Ground Roll*. Existem também os ruídos aleatórios, não induzidos pelo método, que originam-se por efeitos ambientais (Vento, Chuvas,...) e técnicos (Equipamentos defeituosos).

Na aquisição sísmica procura-se evitar qualquer tipo de ruído, contudo alguns fatores não possuem controle técnico, como a atenuação da energia pelo meio. Além da atenuação, ocorre o espalhamento geométrico da onda sísmica. A onda incidente distribui-se como uma envoltória esférica de área igual  $4\pi r^2$  ( $r$  = raio). Aumentando o raio, aumenta-se a área, por isso ocorre o particionamento e decaimento da energia segundo  $1/r^2$ .

Outro fator a influenciar o sinal sísmico é a geologia, pois esta funciona como um filtro de alta frequência e possui diversos obstáculos geológicos (Falhas, Dobras,...) que difratam a energia. A atenuação das altas frequências faz as ondas refletidas nas camadas mais profundas perderem resolução. Os obstáculos geológicos geram as ondas difratadas, que diminuem a razão sinal/ruído dos dados sísmicos.

Mesmo a geologia empobrecendo o sinal sísmico que retorna para os receptores, é pelo contraste das camadas sedimentares que as ondas refletidas são originadas. A reflexão da onda sísmica ocorre devido a diferença de impedância acústica entre dois meios. A impedância acústica é definida como:

$$Z = \rho * V \quad (3.3.1)$$

**Legenda:**

**Z** = impedância acústica

**$\rho$**  = densidade do meio

**V** = velocidade do meio

A onda refletida proveniente do contraste de impedância acústica entre os pacotes sedimentares é o objeto de estudo do Método Sísmico de Reflexão. Após a energia ser refletida uma fração continua a propagar-se em direção as camadas mais profundas, permitindo o mapeamento de outros limites entre as rochas.

Uma onda sísmica ao mudar de meio sofre desvio na sua trajetória de acordo com a Lei de Snell e dependendo do ângulo incidente (ângulo crítico) sofre refração de 90 graus, originando a onda refratada. Utilizando a Lei de Snell (equação 3.3.2) é possível mapear a trajetória do raio das ondas refletidas e refratadas, sendo de crucial importância para o planejamento de uma aquisição sísmica.

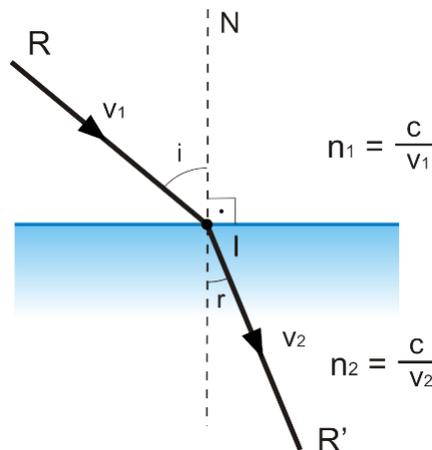


Figura 7: Lei de Snell (Fonte: fisikanarede.com).

$$n_1 * V_1 = n_2 * V_2 \quad (3.3.2)$$

**Legenda:**

**R**= raio incidente

**R'**= raio refratado

**N** = normal pelo ponto de incidência I

**i** = ângulo de incidência

**r** = ângulo de refração

**$n_1$**  = coeficiente de refração do meio 1

**$n_2$**  = coeficiente de refração do meio 2

**$V_1$**  = velocidade do meio 1

**$V_2$**  = velocidade do meio 2

## 4 Aquisição Sísmica

O levantamento sísmico é composto por parâmetros que possuem relação direta com a qualidade do dado adquirido. A aquisição é realizada em formatos 2D ou 3D e em ambientes marinhos e terrestres. O 2D possui uma linha com receptores e o 3D mais de uma.

A aquisição 2D produz uma seção sísmica, imagem obtida após aplicação das técnicas de processamento, enquanto o 3D resulta um cubo sísmico que contém diversas seções sísmicas correlacionadas (Figura 8). As seções sísmicas podem ser no domínio do tempo ou profundidade.

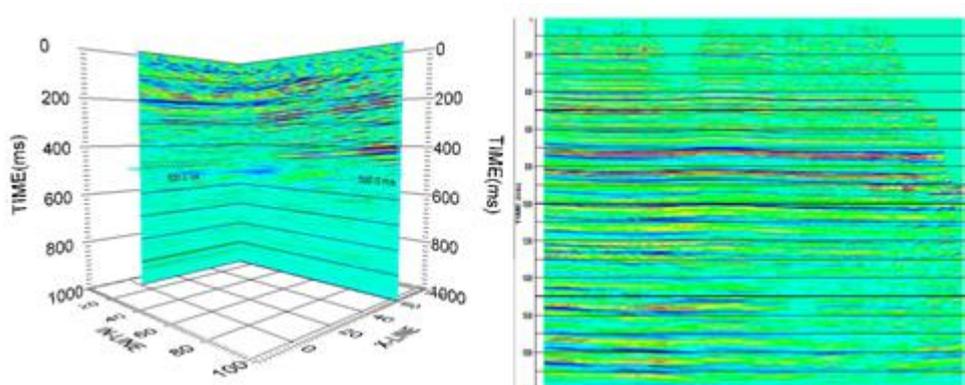


Figura 8: Cubo Sísmica 3D (esquerda). Seção Sísmica 2D (direita). *TIME*: tempo duplo (ms).

### 4.1 Aquisição Sísmica Terrestre (2D/3D)

O levantamento 2D terrestre possui uma linha composta de geofones e conforme a fonte muda a posição do disparo, os receptores são deslocados para a direção de interesse (Figura 9).

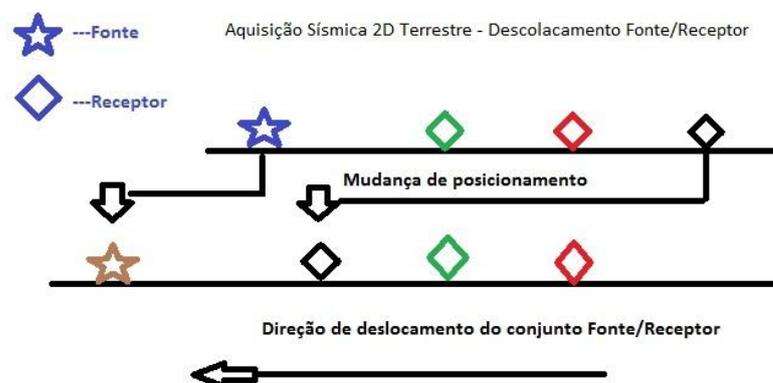


Figura 9: Aquisição Sísmica Terrestre 2D - Deslocamento Fonte/Receptor.

Diferentemente do 2D o levantamento 3D terrestre pode possuir mais de uma linha composta com geofones, estas dispõem-se paralelamente e são chamadas de *In-Line*. A fonte é deslocada perpendicularmente à direção do *In-Line*, formando uma ou mais linhas com as posições dos disparos, chamada de *Cross-Line*. Além de propagar o tamanho da linha dos receptores, como no caso 2D, pode-se deslocar todo o conjunto de uma ou mais linhas, aumentando a área amostrada.

A respeito dos levantamentos sísmicos a logística do posicionamento da fonte, dos receptores e a composição das suas respectivas linhas variam conforme o objetivo do estudo, não sendo necessariamente executados da forma descrita previamente.

#### 4.2 Ponto Médio Comum (CMP)

A área ou ponto amostrado, chamado de Bin (Sísmica 3D) ou CMP (Sísmica 2D), é o ponto médio entre o arranjo fonte/receptor de acordo com a Técnica de Ponto Médio Comum (Figura 10). A quantidade de traços sísmicos referente ao mesmo local é definida como cobertura (Figura 10). Definido a geologia alvo é possível planejar um levantamento em que a localização de maior interesse tenha mais amostras que as partes adjacentes.

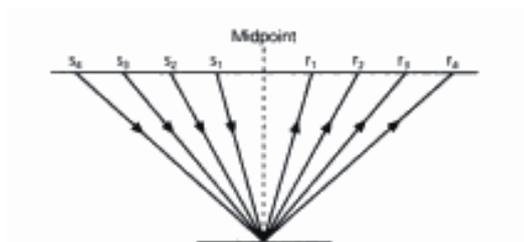


Figura 10: Ponto Médio Comum. Cobertura = 4 (Fonte: Kearey *et al.*, 2002).

#### 4.3 Parâmetros

O sismograma pode ser decomposto em distintos conteúdos de frequências através da Transformada de Fourier. O intervalo das frequências amostradas é definido pelo Teorema de Nysquist (equação 4.3.1), que diz:

$$F_n = 1/2\Delta T \quad (4.3.1)$$

$$\eta = 1/2\Delta X \quad (4.3.2)$$

**Legenda:**

**$F_n$**  = frequência de Nyquist

**$\Delta T$**  = taxa de amostragem (temporal)

**$\eta$**  = número de onda

**$\Delta X$**  = taxa de amostragem (espacial)

Supondo uma taxa de amostragem ( $\Delta T$ ) de 2ms, Nyquist garante que o intervalo de 0 a 250Hz (Intervalo de Nyquist) será registrado. Caso exista uma frequência superior a de Nyquist ( $> 250$  Hz) é dito que o sinal está falseado.

A Transformada de Fourier é também aplicada no sinal sísmico no domínio do espaço, encontrando a frequência espacial ou o número de onda ( $\eta$ ). Para saber o intervalo do número de onda amostrado sem que ocorra falseamento, substitui-se a taxa de amostragem  $\Delta T$  pela espacial  $\Delta X$  (espaçamento entre receptores) no Teorema de Nyquist (equação 4.3.2).

A amostragem na aquisição sísmica influencia diretamente o processamento sísmico, pois as operações matemáticas aplicadas procuram discriminar os dados segundo critérios específicos e assim remover os ruídos. As técnicas de processamento, operações matemáticas, podem não ser suficientes caso os traços sísmicos não estejam adequadamente amostrados, resultando em uma redução da razão sinal/ruído.

O processamento sísmico é responsável por remover os ruídos dos dados, porém durante a execução do levantamento o arranjo dos receptores pode auxiliar neste procedimento. Os geofones registram movimentos direcionais, por isso as ondas que propagam-se horizontalmente (*Ground Roll*) são atenuadas posicionando 2 receptores com espaçamento de meio comprimento de onda, pois ao somar os traços sísmicos os movimentos anulam-se.

#### 4.4 Seg-Y

O *Seg-Y* é o formato dos dados sísmicos utilizado na entrada no processamento e onde encontra-se os parâmetros do levantamento e qualquer informação adicional. A estrutura do arquivo é ilustrada pela figura 11.

Identificação da fita do Seg-Y (opcional)	3200 byte Cabeçalho do arquivo de texto (EBCDIC)	400 byte Cabeçalho do arquivo binário.	240 byte Cabeçalho do traço sísmico	Traço sísmico
---	--	--	-------------------------------------	---------------

Figura 11: Estrutura do Seg-Y (Extraído e modificado de Norris, M & Faichney, A., 2001)

A figura 12 ilustra o EBCDIC do arquivo *Seg-Y* e as informações contidas nele. O cabeçalho do arquivo binário contém a taxa de amostragem e diversas outras informações que influenciam o processamento. O cabeçalho do traço sísmico possui a localização e outros atributos do traço sísmico.

Todos os parâmetros e definições das informações alocadas no Seg-Y são encontradas no site da *Society of Exploration Geophysicists* detalhadamente, acima foi apenas uma descrição com o intuito de familiarizar o leitor com o arquivo e sua importância.

3200-byte Textual File Header							
Cols 1-10	Cols 11-20	Cols 21-30	Cols 31-40	Cols 41-50	Cols 51-60	Cols 61-70	Cols 71-80
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
C 1 CLIENT			COMPANY			CREW NO	
C 2 LINE		AREA		MAP ID			
C 3 REEL NO		DAY-START OF REEL		YEAR		OBSERVER	
C 4 INSTRUMENT: MFG			MODEL		SERIAL NO		
C 5 DATA TRACES/RECORD		AUXILIARY	TRACES/RECORD			CDF FOLD	
C 6 SAMPLE INTERVAL		SAMPLES/TRACE		BITS/IN		BYTES/SAMPLE	
C 7 RECORDING FORMAT		FORMAT THIS REEL				MEASUREMENT SYSTEM	
C 8 SAMPLE CODE: FLOATING PT		FIXED PT		FIXED PT-GAIN		CORRELATED	
C 9 GAIN TYPE: FIXED		BINARY		FLOATING POINT		OTHER	
C10 FILTERS: ALIAS		HZ NOTCH		HZ BAND		HZ SLOPE	DB/OCT
C11 SOURCE: TYPE			NUMBER/POINT			POINT INTERVAL	
C12 PATTERN:				LENGTH		WIDTH	
C13 SWEEP: START		HZ END		HZ LENGTH		MS CHANNEL NO	TYPE
C14 TAPER: START LENGTH			MS END LENGTH			MS TYPE	
C15 SPREAD: OFFSET		MAX DISTANCE		GROUP INTERVAL			
C16 GEOPHONES: PER GROUP		SPACING		FREQUENCY		MFG	MODEL
C17 PATTERN:				LENGTH		WIDTH	
C18 TRACES SORTED BY:		RECORD		CDP		OTHER	
C19 AMPLITUDE RECOVERY: NONE				SPHERICAL DIV		AGC	OTHER
C20 MAP PROJECTION				ZONE ID		COORDINATE UNITS <sup>3</sup>	
C21 PROCESSING:							
C21 PROCESSING:							
C23							
C38							
C39 SEG Y REVI <sup>8</sup>							
C40 END TEXTUAL HEAD <sup>4,8</sup>							

Figura 12: EBCDIC do Seg-Y (Fonte: de Norris, M & Faichney, A., 2001).

Mesmo tendo os padrões definidos, muitos dados sísmicos passam por conversões. Então, para carregar um arquivo corretamente é essencial um estudo prévio com objetivo de identificar alguma informação alocada na posição incorreta.

#### 4.5 Geometria

Os traços sísmicos precisam ser identificados com seus respectivos detalhes, como:

- 4.5.1 Numeração do tiro,
- 4.5.2 Coordenadas geográficas do tiro,
- 4.5.3 Coordenadas geográficas da estação,
- 4.5.4 Numeração da linha de receptores onde a estação está inserida,
- 4.5.5 Numeração da estação onde está alocado o receptor.

A estação é o local onde foi colocado um receptor. Um tiro atinge diversas estações que estão contidas em uma ou mais linhas de receptores. As identificações das estações não

podem ser idênticas caso estejam inseridas na mesma linha. As linhas também não podem ter as mesmas numerações.

O procedimento de transcrever as informações acima é chamado de geometria e ficam registradas nos cabeçalhos dos traços sísmicos. A geometria permite associar o traço sísmico ao local amostrado.

## 5 Processamento Sísmico

O processamento sísmico consiste na aplicação de operações matemáticas que procuram remover ruídos coerentes e aleatórios para construir uma seção sísmica para interpretação geológica.

Definir os tempos de chegada das ondas sísmicas com base em funções matemáticas permite ao processamento sísmico identificar as ondas refletidas. Kearey et al (2002) define o tempo de percurso através de um modelo simples com duas camadas plano paralelas (Figura 13). A velocidade da camada inferior ( $V_2$ ) é maior que da camada superior ( $V_1$ ),  $Z$  é a espessura do pacote sedimentar com velocidade  $V_1$  e  $X$  a distância entre a fonte (S) e o Receptor(D).

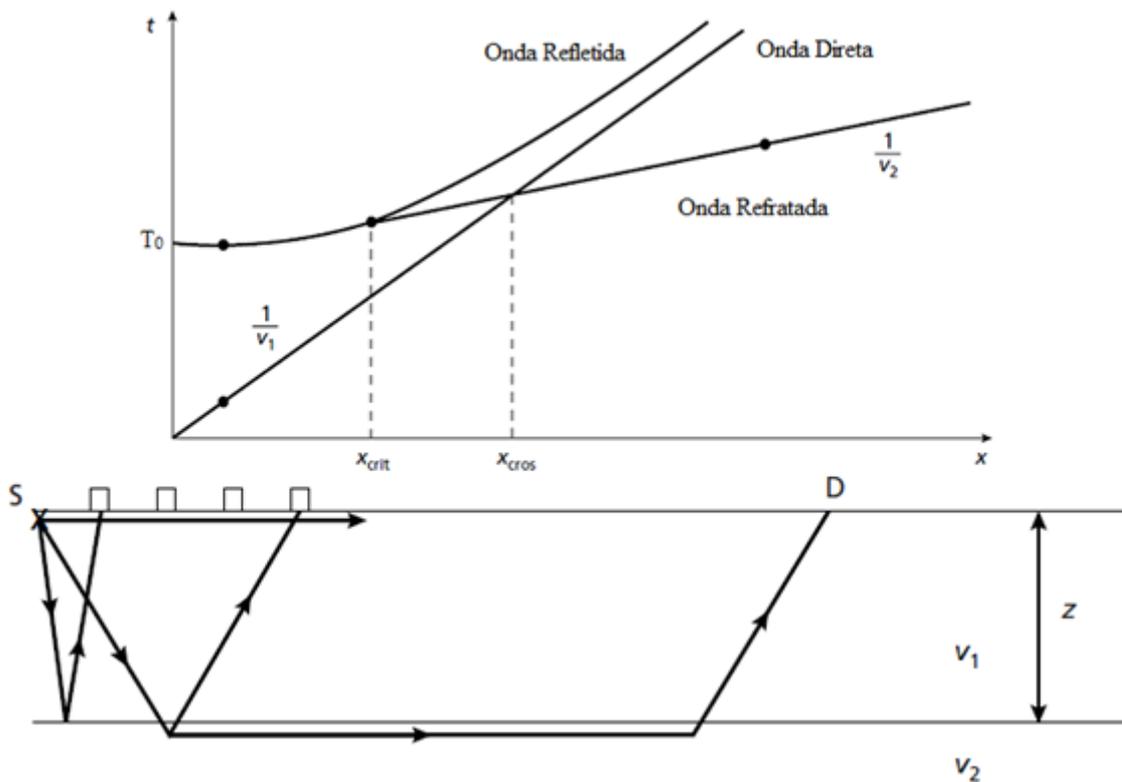
$$t_{\text{dir}} = X/V_1 \text{ (Onda Direta) (5.1)}$$

$$t_{\text{refl}} = (X^2 + 4Z^2)^{1/2} / V_1 \text{ (Onda Refletida) (5.2)}$$

$$t_{\text{refr}} = (X/V_2) + (2*Z*\cos(\theta_c) / V_1) \text{ (Onda Refratada) (5.3)}$$

**Legenda:**

$t_{\text{dir}}$  = tempo de chegada da onda direta.  $t_{\text{refl}}$  = tempo de chegada da onda refletida.  
 $t_{\text{refr}}$  = tempo de chegada da onda refratada.  $X$  = distância entre fonte e receptor.  $Z$  = espessura da camada superior.  $V_1$  = velocidade da camada superior.  $V_2$  = velocidade da camada inferior.  
 $\theta_c$  = ângulo crítico.



**Figura 13:** As trajetórias e os tempos de chegada para ondas refletida, direta e refrata para um modelo de duas camadas sedimentares.  $X_{cros}$ : distância de cruzamento.  $X_{crit}$  = distância crítica.  $T_0$  = tempo de percurso para onda que incide verticalmente (Fonte: Kearey *et al.*, 2002).

### 5.1 Correção Estática

As diferenças das elevações e as variações da espessura da camada de intemperismo ou Zona de Baixa Velocidade (ZBV), causam pequenas diferenças nos tempos de chegada das ondas refletidas. Para solucionar esse problema procura-se corrigir o levantamento para um datum, alinhando o posicionamento do conjunto fonte e receptor. A ZBV é substituída por um pacote sedimentar com velocidade constante. Para realizar tal procedimento aplica-se a correção estática de refração e elevação.

A estática de refração trabalha com as velocidades das ondas refratadas e direta, que são encontradas através do inverso das inclinações dos seus respectivos gráficos do tempo de chegada (Figura 13).

Encontradas as velocidades, estas são aplicadas na equação 5.1.1 para calcular a profundidade da ZBV (Yilmaz, 1987). Com a profundidade calculada encontra-se o tempo de propagação (equação 5.1.2).

$$Z_w = (V_b) * (V_w) * (T_i) / 2 * (V_b^2 - V_w^2)^{1/2} \quad (5.1.1)$$

$$T_w = 2 * Z_w / V_w \quad (5.1.2)$$

$$T_D = - T_w + 2 * (E_D - E_S + Z_w) / V_b \quad (5.1.3)$$

**Legenda:**

$Z_w$  = espessura da ZBV

$V_b$  = velocidade da camada rochosa abaixo da ZBV

$T_i$  = tempo da onda refratada para a projeção no espaçamento 0

$T_w$  = tempo de propagação na ZBV

$V_w$  = velocidade da ZBV

$E_D$  = elevação do datum.

$E_S$  = elevação da superfície

$T_D$  = correção estática para o datum  $E_D$

O próximo passo é escolher um DATUM. A equação 5.1.3 remove o tempo de propagação da onda sísmica na ZBV e insere o tempo de propagação da onda sísmica em uma camada sedimentar de velocidade  $V_b$  com elevação até o datum  $E_D$ . A equação 5.1.3 considerou os receptores e as fontes na mesma elevação, caso as elevações sejam diferentes torna-se necessário incluir uma correção de elevação adicional.

Somando os valores da estática de refração e elevação será possível achar o tempo de percurso a ser corrigido nos traços sísmicos e assim substituir a ZBV por um pacote sedimentar de velocidade e elevação regular.

## 5.2 Correção de Amplitude

A onda sísmica ao propagar-se sofre atenuação devido a absorção do meio e do espalhamento geométrico, esses efeitos são corrigidos através de ganhos nas amplitudes dos traços sísmicos. Os ganhos aplicados variam em função do tempo.

A absorção de energia do meio poder ser corrigida com um ganho exponencial (Ylmaz,1987), definido como:

$$E(t) = t * e^t \quad (5.2.1)$$

**Legenda:**

$E(t)$  = ganho

$t$  = tempo

$e$  = exponencial

O efeito do espalhamento geométrico proporciona um decaimento na amplitude segundo  $1/\text{Raio}$ , contudo essa situação é válida somente em meios homogêneos sem atenuação.

A aplicação de qualquer tipo de ganho é benéfica, desde que realce as reflexões primárias (ondas refletidas), contudo também está sujeito a amplificar os ruídos. O Controle de Ganho Automático ou AGC é um outro ganho e procura resgatar as amplitudes da seguinte forma:

1 - A média absoluta das amplitudes do traço sísmico é computada dentro de um intervalo de tempo especificado pelo processador.

2 - A relação entre a raiz quadrada da amplitude desejada sobre a média absoluta é definida como o ganho.

3 - Aplica-se o ganho calculado dentro da janela estipulada e move-se uma amostra abaixo.

### 5.3 Filtragem F-K

O sismograma é registrado em função do tempo( $t$ ) e espaçamento( $x$ ), ou seja, no plano ( $t, x$ ). Aplicando a Transformada de Fourier Bidimensional nos dados sísmicos muda-se do plano ( $t, x$ ) para o plano ( $f, k$ ), onde  $f$  é a frequência e  $k$  o número de onda.

Os eventos sísmicos no plano ( $t, x$ ) são separados segundo seus ângulos de mergulho no plano ( $f, k$ ). Os ângulos de mergulho dos eventos sísmicos estão associados as suas velocidades de propagação através do lanço de receptores (Kearey *et al.*, 2002). Assim, a filtragem F-K consiste de uma filtragem de velocidade, ou seja, ruídos podem ser removidos dos dados sísmicos com base nas suas velocidades de propagação.

O *Ground Roll* é um ruído coerente que propaga-se ao longo da superfície e apresenta baixa frequência, baixa velocidade e alta amplitude (Yilmaz, 1987). No plano ( $f, k$ ) o *Ground Roll* é isolado das ondas refletidas, como demonstra a figura 14.

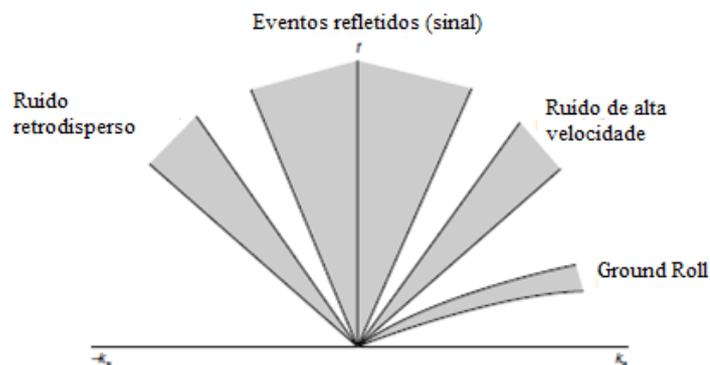


Figura 14: Gráfico F-K com os locais onde encontram-se os ruídos e o sinal refletido.  $k$  é o número de onda e  $f$  a frequência. (Fonte: Kearey *et al.*, 2002 ).

A figura 15 ilustra o polígono de rejeição desenhado no plano ( $f, k$ ) (A), o *Ground Roll* removido (B), o dado de entrada (C) e após a aplicação do filtro F-K (D). O filtro F-K foi aplicado com os traços sísmicos no domínio tiro.

Segundo Ylmaz(1987) ao aplicar o filtro F-K no domínio do tiro e receptor consegue-se uma melhor atenuação do *Ground Roll*.

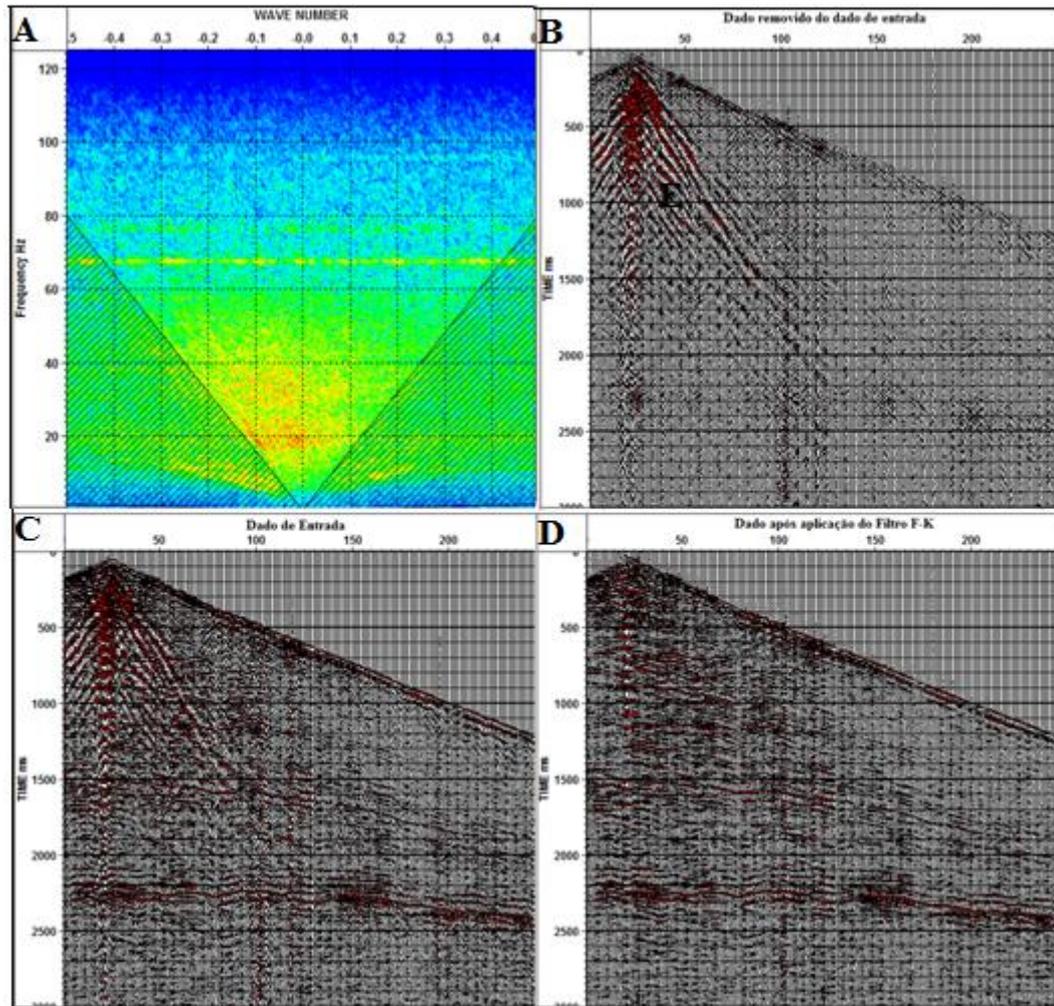


Figura 15: A) Polígono de rejeição aplicado no plano ( $f, k$ ). B) *Ground Roll* removido do dado de entrada. C) Dado de entrada. D) Dado sísmico após o processamento. E) *Ground Roll*. Time: tempo duplo (ms).

#### 5.4 Análise de velocidade

A análise de velocidade procurar obter as velocidades das camadas sedimentares em subsuperfície através dos dados sísmicos. Primeiro escolhe-se os BINs ou CMPs a serem utilizados nesta etapa. Selecionados os pontos, três painéis são colocados lado a lado:

Painel 1: *Semblance*: A função da hipérbole descreve o comportamento da onda refletida. O *semblance* é o cálculo da coerência em que a função de uma hipérbole com

velocidade específica assemelha-se a onda refletida contida nos dados sísmicos. Quanto mais coerente, melhor estipula-se as velocidades das camadas sedimentares.

Painel 2: Ordenação em CMP : Cada CMP é amostrado diversas vezes com o conjunto fonte/receptor tendo afastamento diferenciado. Os traços sísmicos pertencentes ao mesmo CMP são ordenados lado a lado em função do espaçamento.

Painel 3: CVS (*Common Velocity Stack*): Os traços sísmicos referente aos CMPs selecionados são corrigidos em tempo por velocidades determinadas pelo processador e colocados lado a lado. As correções em tempo procuram trazer todos os traços sísmicos para o espaçamento zero.

A figura 16 ilustra os três painéis da análise de velocidade. O processo da análise de velocidade é feito manualmente, onde procura-se marcar os picos mais coerentes no *semblance* juntamente com os traços sísmicos corrigidos no CVS que apresentarem melhor alinhamento. As velocidades escolhidas no *semblance* e CVS devem ser próximas.

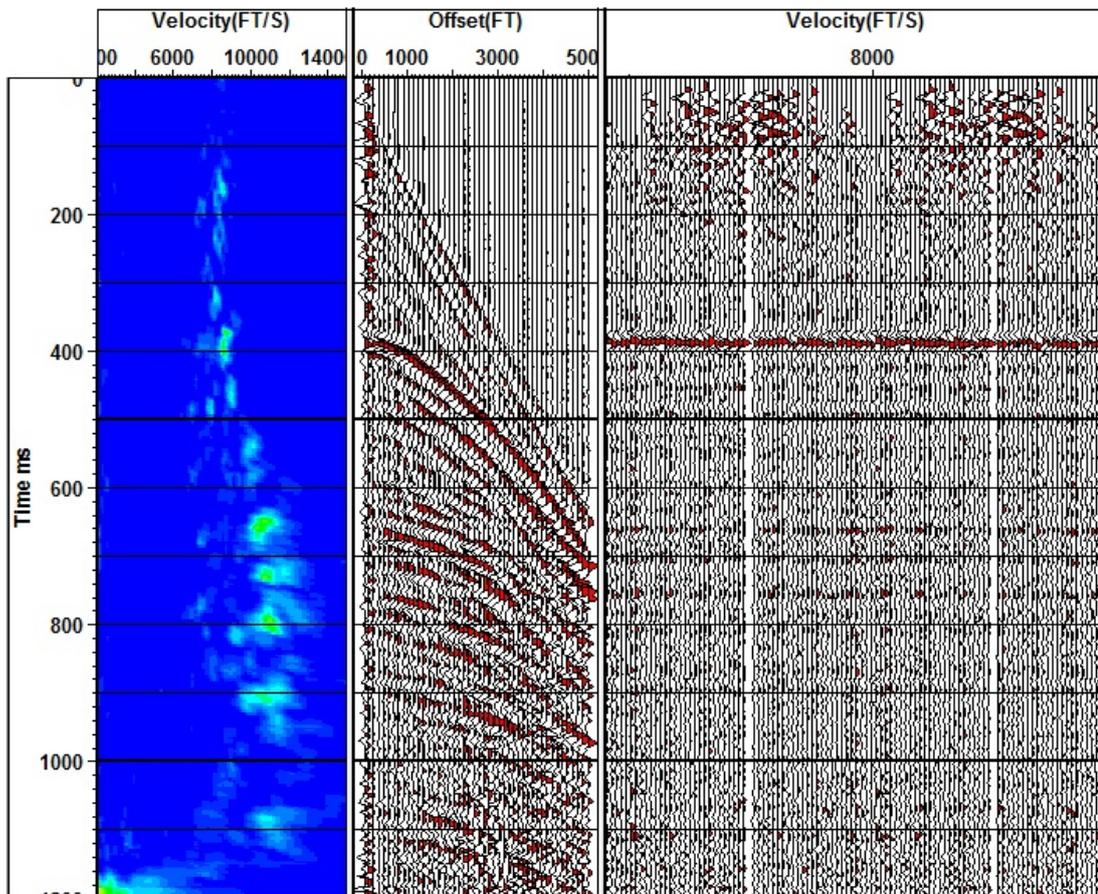


Figura 16: Análise de Velocidade. *Semblance* (esquerda). Ordenação em CMP (central). CVS (direita). Os picos em verde apresentam mais coerência comparados a área em azul. (*Velocity*: velocidade. *Offset* : espaçamento. FT/S: pés/s. *Time*: tempo duplo (ms)).

### 5.5 Correção de Sobretempo Normal (NMO)

Os traços sísmicos na ordenação em CMP representam as trajetórias das ondas refletidas com o par fonte/receptor possuindo afastamento diferenciado. Diminuindo os tempo de percurso ( $T_2$  e  $T_1$ ) entre duas ondas refletidas, registradas com espaçamento  $X_2$  e  $X_1$  ( $X_2 > X_1$ ), encontra-se o sobretempo (Kearey *et al.*, 2002).

$$T_2 - T_1 = (X_2)^2 - (X_1)^2 / [2 * V^2 * T_0] \quad (5.4.1)$$

**Legenda:**

$T_2$  = tempo de percurso da onda refletida para o afastamento  $X_2$

$T_1$  = tempo de percurso da onda refletida para o afastamento  $X_1$

$X_2$  = espaçamento fonte/receptor

$X_1$  = espaçamento fonte/receptor

$V$  = velocidade da camada sedimentar

$T_0$  = tempo de percurso para onda que incide verticalmente

Sendo  $X_1$  igual a zero calcula-se o sobretempo normal, ou seja, a diferença de tempo ( $\Delta T$ ) de percurso para as ondas refletidas com espaçamento  $X$  em relação as ondas refletidas com espaçamento zero.

$$\Delta T = T_x - T_0 = X^2 / [2 * V^2 * T_0] \quad (5.4.2)$$

**Legenda:**

$T_x$  = tempo de percurso da onda refletida para o afastamento  $X$

$X$  = espaçamento fonte/receptor

$V$  = velocidade da camada sedimentar

$T_0$  = tempo de percurso para onda que incide verticalmente

$\Delta T$  = sobretempo normal

A correção NMO é aplicada nos traços sísmicos na ordenação em CMP e procura compensar os atrasos nos traços sísmicos devido ao espaçamento. Assim, todas as ondas refletidas passam a possuir a trajetória de uma onda refletida com afastamento nulo (Figura 17).

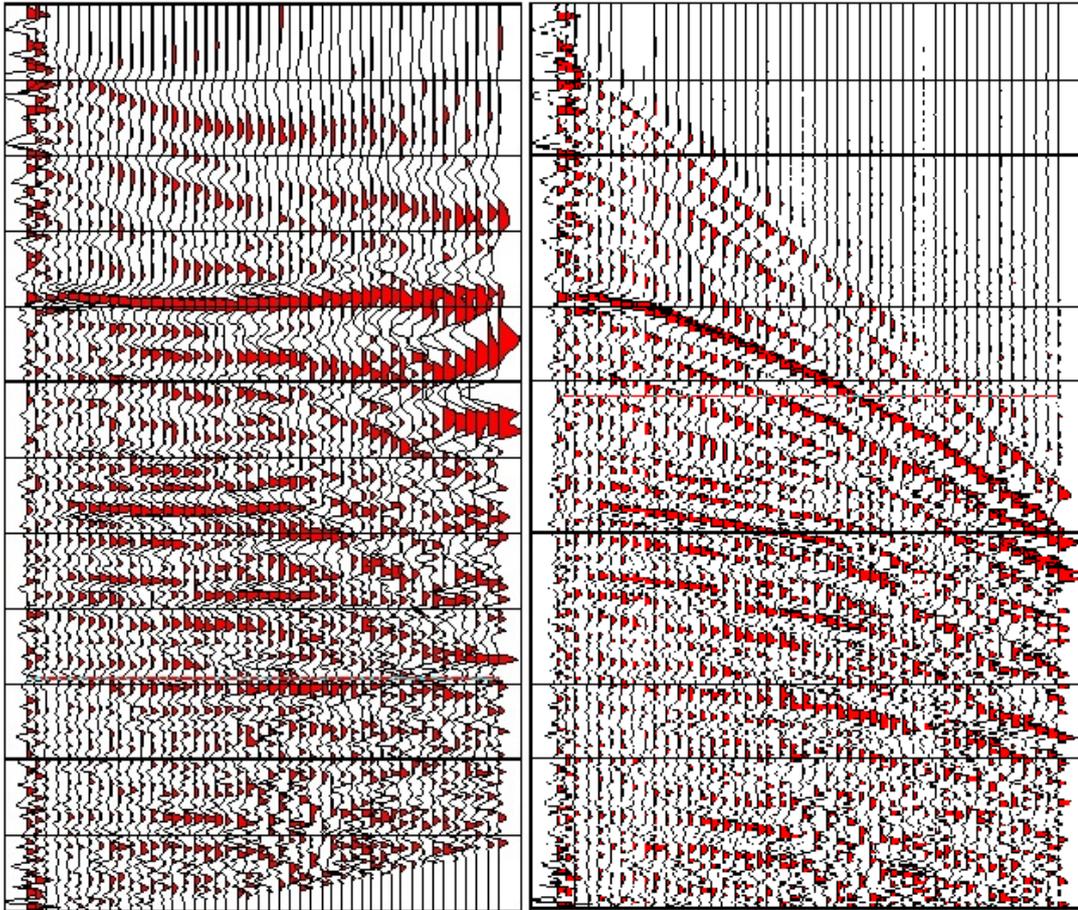


Figura 17: Correção NMO. Após o processamento (esquerda) e antes (direita).

## 5.6 Empilhamento

Aplicada a correção NMO, os traços sísmicos são ordenados em CMP e colocados lado a lado, ou seja, empilhados para serem somados. A soma faz com que as reflexões sejam amplificadas e os ruídos aleatórios eliminados. Caso a correção NMO não tenha sido executada com os tempos corretos o efeito é o oposto do desejado.

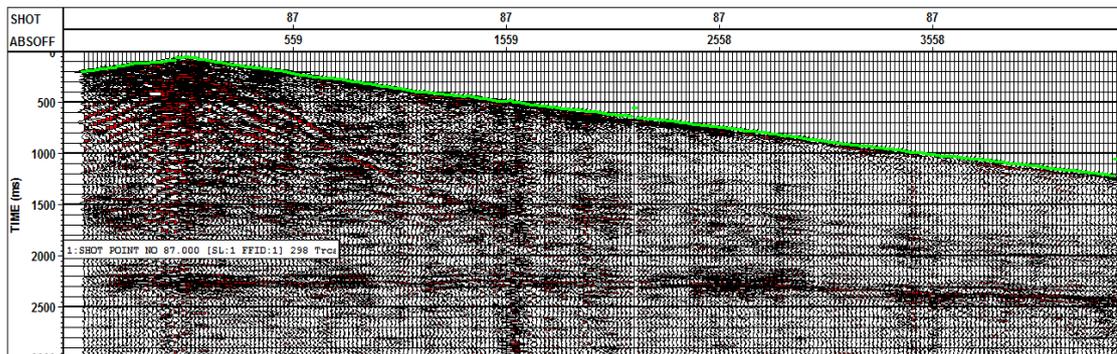
## 5.7 Parâmetros e Procedimentos da Correção Estática

Ao realizar uma correção estática de refração e elevação os parâmetros escolhidos e as execuções dos procedimentos determinam a coerência dos valores calculados. Abaixo segue o passo a passo do processamento:

## 5.7.1 Estática de Refração

### 5.7.1.1 Marcações das "Primeiras Quebras":

As primeiras quebras consistem em marcar os tempos em que as ondas refratadas são registradas (Figura 18). Esta etapa é feita com os traços sísmicos no domínio da fonte por espaçamento, ou seja, os traços sísmicos relacionados a um tiro são ordenados em função do espaçamento. As primeiras quebras ficam correlacionadas com as identificações dos tiros.



**Figura 18: Marcação da Primeira Quebra. Shot: Tiro. ABSOFF: espaçamento fonte/receptor. Time: tempo duplo (ms).**

### 5.7.1.2 Modelo

Definir o número de camadas e quais primeiras quebras devem ser utilizadas.

### 5.7.1.3 Definindo a velocidade do modelo

Marcar as inclinações das primeiras quebras escolhidas anteriormente (seção 5.6.1.1), definindo as velocidades de propagação das camadas sedimentares.

### 5.7.1.4 Aplicação do Modelo

Definido a quantidade de camadas sedimentares e suas velocidades com base nas primeiras quebras deve-se extrapolar o comportamento encontrado para todas as marcações das primeiras quebras. Ao executar a extrapolação um valor como critério de falha é estipulado, ou seja, caso o modelo não encaixe-se nas marcações feitas aparecerá uma mensagem de falha.

## 5.7.2 Estática de Elevação

### 5.7.2.1 Datum

Um datum é escolhido, podendo ser fixo ou flutuante.

### 5.7.2.2 Velocidade de reposição

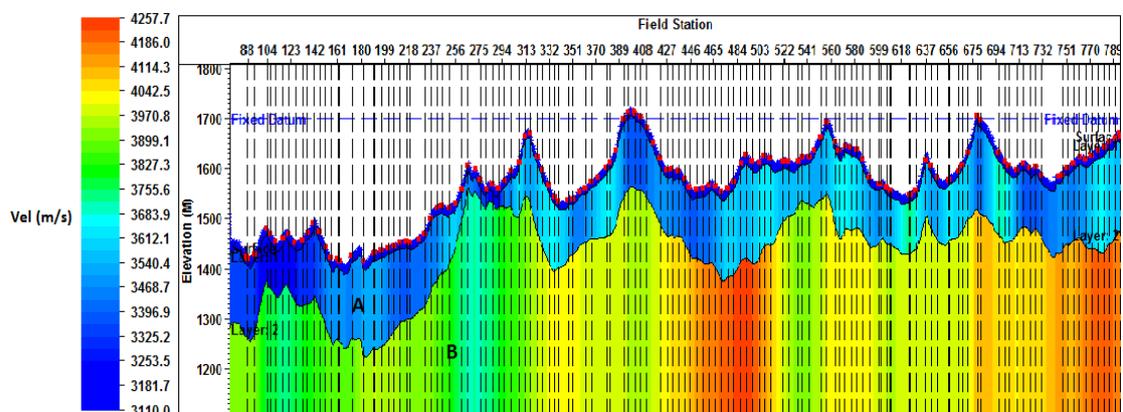
Inserir-se a velocidade de reposição, este processo é válido em ambas as correções (refração e estática).

## 5.8 Análise dos resultados

Finalizado os procedimentos das estáticas de refração e elevação é fundamental que os resultados sejam analisados. Primeiramente uma comparação entre todas as primeiras quebras deve ser feita, visando identificar alguma marcação incorreta e buscando definir as marcações a serem selecionadas.

Ao decidir as marcações das primeiras quebras a serem utilizadas é importante que toda a área de aquisição seja contemplada, evitando que o modelo derivado seja tendencioso. O modelo extraído deve ter similaridade com a ZBV da região, pois caso contrário o processamento não apresentará coerência (Marsden, D., 1993).

A figura 19 ilustra o modelo da ZBV derivado das primeiras quebras da figura 18. Identificam-se 2 camadas (A e B) com velocidades distintas, os pontos vermelhos correspondem as primeiras quebras de quais tiros foram utilizadas.



**Figura 19:** Modelo da ZBV. *Field Station*: estações. *Vel*: Velocidade (m/s). *Elevation*: elevação (m). *Fixed Datum*: Datum fixo (linha pontilhada em azul).

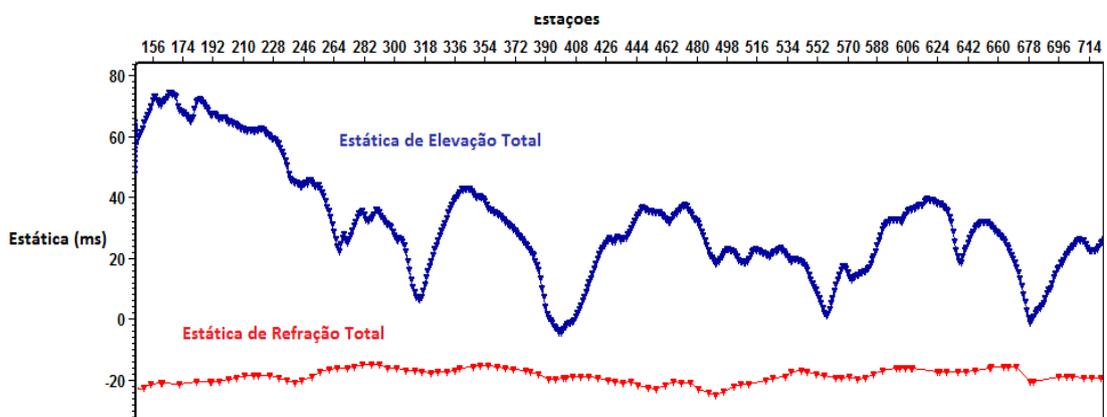
As correções em tempo a serem inseridas nos traços sísmicos referente a estática de refração dividem-se em 2 grupos:

- estática de refração da fonte
- estática de refração do receptor

A correção estática de elevação também divide-se em dois grupos:

- estática de elevação da fonte
- estática de elevação do receptor

O somatório dos dois grupos compõem a estática de elevação total. Inicialmente existe a opção de escolher um datum flutuante, mas para o modelo da figura 19 definiu-se um datum fixo. O comportamento dos valores calculados encontram-se no gráfico da figura 20. A estática de elevação total possui uma correção maior comparada a refração, demandando um tempo computacional superior para a sua implementação.



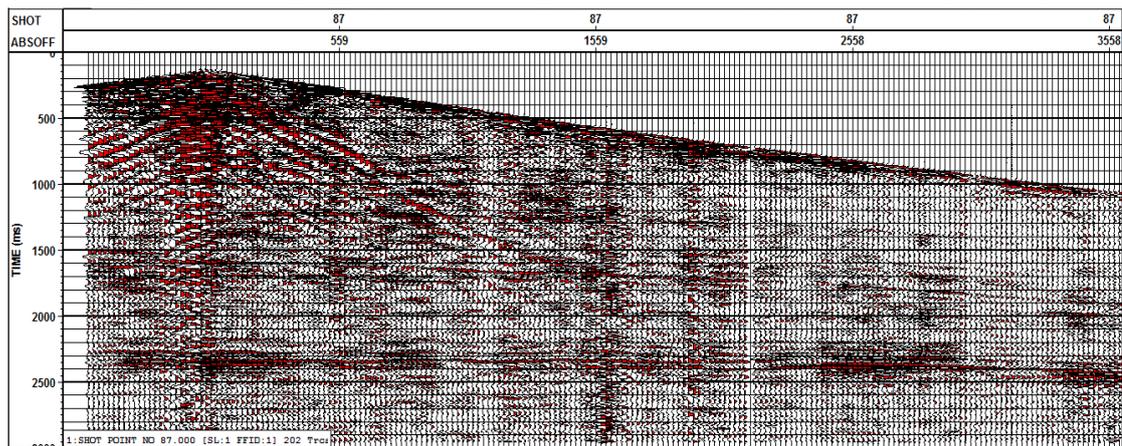
**Figura 20: Comportamento das Correções das Estáticas de Refração (Vermelho) e Elevação (Azul).**

A opção do datum flutuante torna-se interessante em casos que os diferentes modelos extraídos das primeiras quebras ainda estão em teste, necessitando menos tempo computacional. Posteriormente as diferenças entre os tempos das correções dos datum flutuante e fixo devem ser inseridas, deixando o processamento baseado em uma referência fixa.

Implementada as correções das estáticas de refração e elevação as ondas refletidas devem apresentar um comportamento hiperbólico melhor definido (Figura 21). Caso a estática

apresente sucesso na sua execução é possível notar as melhoras no painel *Semblance* e no empilhamento dos traços sísmicos. As seções sísmicas devem ter suas reflexões realçadas e bem alinhadas.

As seções sísmicas que apresentam somente o processo das correções estáticas devem ser passíveis de interpretação somente nos tempos iniciais, pois os tempos tardios ainda contém ruídos que são removidos em outras etapas do processamento sísmico.



**Figura 21:** Sismograma com correção estática (refração e elevação). O sismograma sem correção estática encontra-se na figura X. *Shot*: Tiro. *ABSOFF*: espaçamento fonte/receptor. *Time*: tempo duplo (ms).  
Domínio do tiro.

## 6 Metodologia

### 6.1 Vista Seismic Data Processing 9.0

O *software* a ser utilizado para o processamento dos dados é o *Vista Seismic Data Processing 9.0*. A licença do *software* pertence e foi cedida por Strataimage Consultoria Ltda. Os dados sísmicos utilizados na Fundamentação Teórica pertencem ao programa *Vista Seismic Data Processing 9.0*.

### 6.2 Dado Sísmico Terrestre

Uma sísmica 3D terrestre de propriedade da ANP adquirida na Bacia Potiguar foi escolhida para execução do trabalho.

### 6.3 Fluxo de Processamento

#### 6.3.1 Carregando o SegY/ Geometria

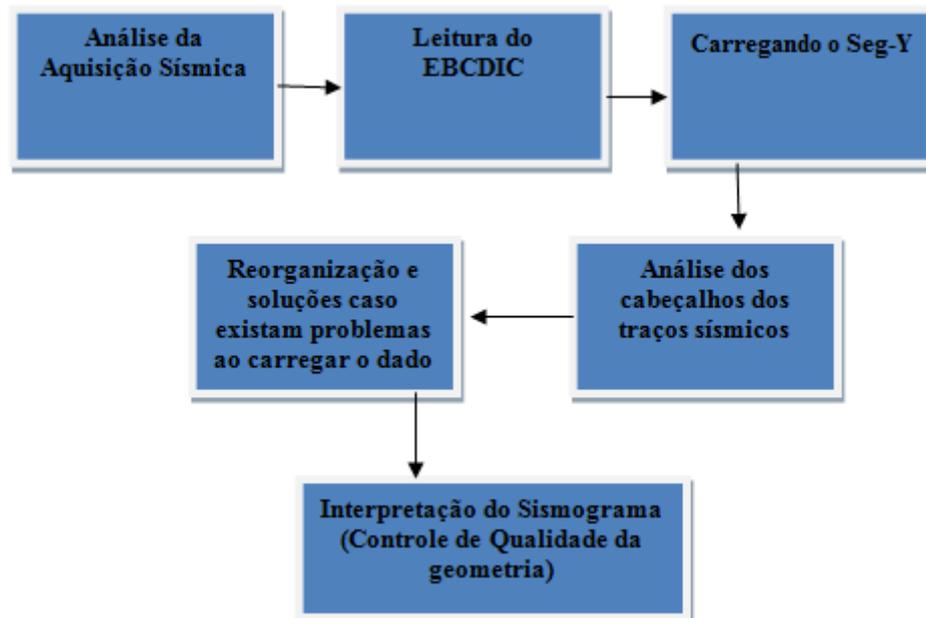


Figura 22: Fluxograma da geometria

### 6.3.2 Correção Estática de Refração e Elevação

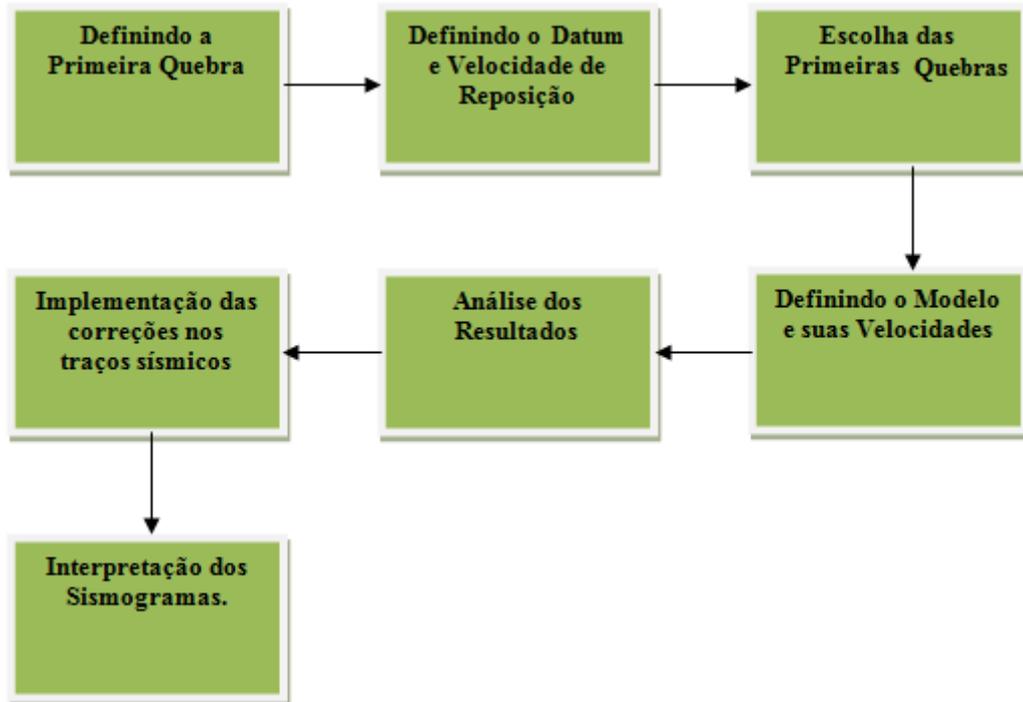


Figura 23: Fluxograma da correção estática.

### 6.3.3 Seção Sísmica

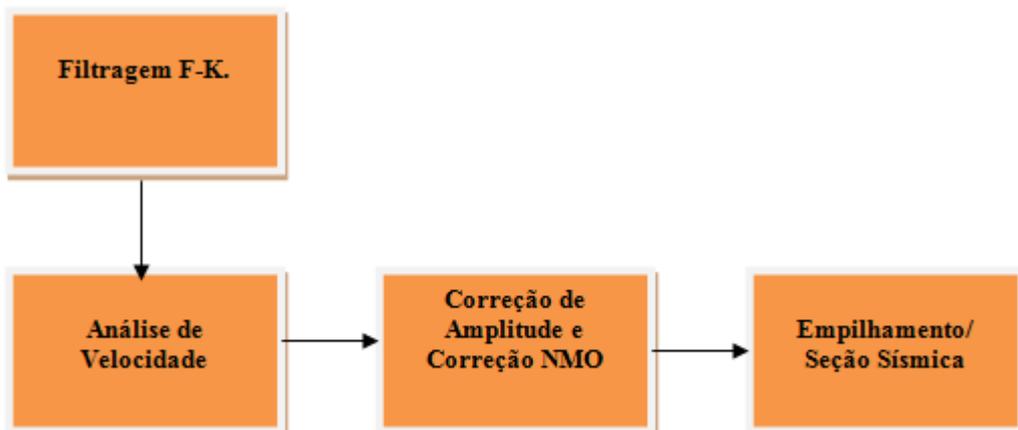


Figura 24: Fluxograma da seção sísmica.

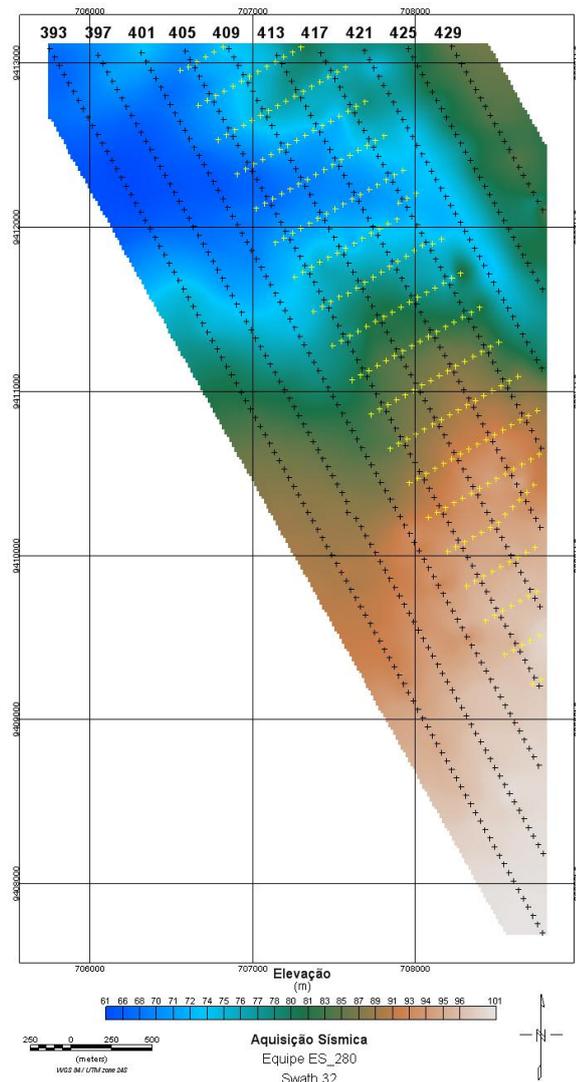
## 7 Resultados - Aquisição Sísmica

A figura 25 ilustra o mapa topográfico da região onde foi realizada a aquisição sísmica (Bacia Potiguar). Os pontos em preto representam as estações dos receptores e em amarelo os tiros. Na parte superior do mapa estão as numerações das linhas de receptores. Ao total são 613 estações e 245 tiros.

Por critério de organização, as seguintes numerações foram adotadas para as estações e sequência dos receptores (Tabela 1).

<b>Linhas</b>	<b>Estações (Intervalo) Início (esq) - Final(dir).</b>	<b>Sequência de receptores Início (esq) - Final(dir).</b>	<b>Total de estações e receptores .</b>
<b>393</b>	<b>100 - 203</b>	<b>0 - 103</b>	<b>104</b>
<b>397</b>	<b>100 - 193</b>	<b>104 - 197</b>	<b>94</b>
<b>401</b>	<b>100 - 183</b>	<b>198 - 281</b>	<b>84</b>
<b>405</b>	<b>100 - 174</b>	<b>282 - 356</b>	<b>75</b>
<b>409</b>	<b>100 - 165</b>	<b>357 - 422</b>	<b>66</b>
<b>413</b>	<b>100 - 155</b>	<b>423 - 478</b>	<b>56</b>
<b>417</b>	<b>100 - 146</b>	<b>479 - 525</b>	<b>45</b>
<b>421</b>	<b>100 - 137</b>	<b>526 - 563</b>	<b>38</b>
<b>425</b>	<b>100 - 128</b>	<b>564 - 592</b>	<b>29</b>
<b>429</b>	<b>100 - 119</b>	<b>593 - 612</b>	<b>20</b>

**Tabela 1: Reorganização do Processamento: Estações, Sequência de receptores e Total. O início da numeração encontra-se sempre na estação mais posicionada ao NW e o final na estação mais posicionada ao SE.**

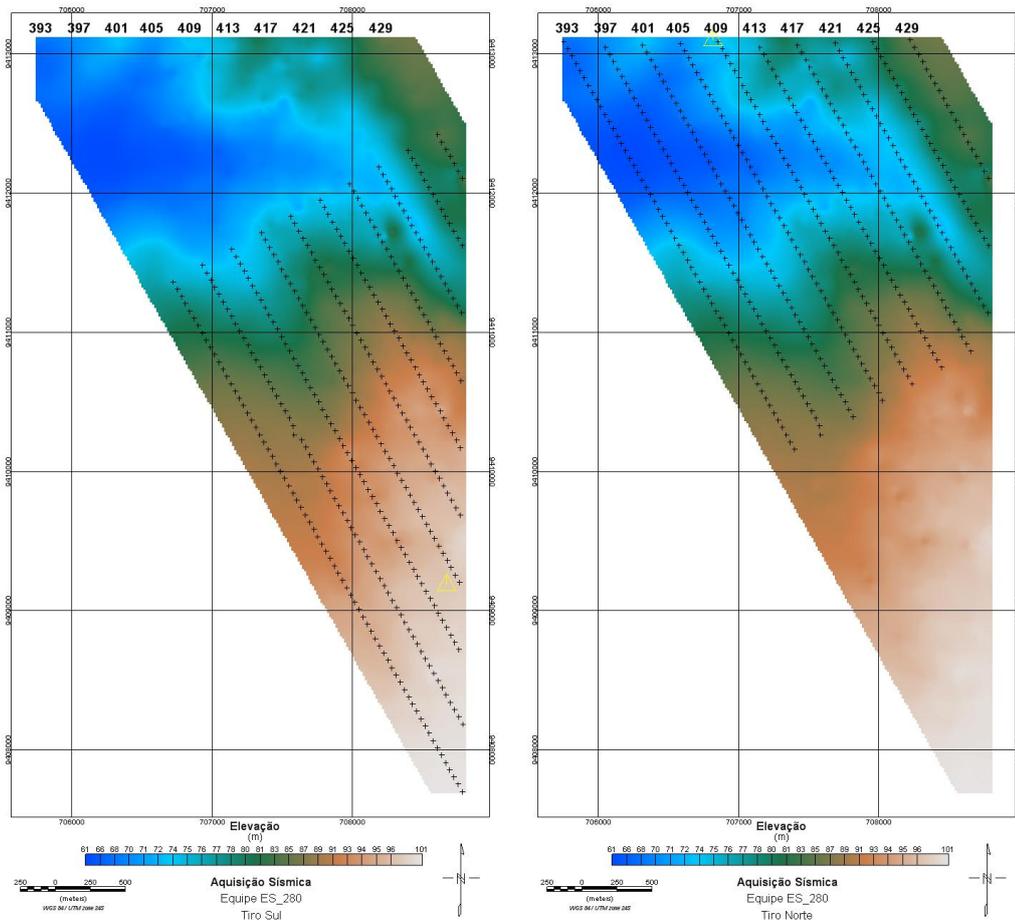


**Figura 25: Levantamento - Swath32. Estações: preto. Tiros: amarelo.**

O deslocamento dos tiros e receptores aconteceu da seguinte forma:

- O número de linhas permaneceu constante.
- Os receptores das estações ao NW eram retirados e colocados nas estações ao SE, conforme o tiro deslocava-se sentido SE.

A figura 26 possui dois tiros no extremo NW e SE do levantamento e as suas respectivas estações.



**Figura 26: Tiro SE (esq.) e Tiro NW (dir.). Estações: preto. Tiro: amarelo.**

## 8 Resultados - Parâmetros da Aquisição Sísmica

A leitura do EBCDIC forneceu os parâmetros utilizados no levantamento, informações comerciais não foram consideradas (Tabela 2):

Projeto: 0280 - Swath032 - Área Mossoró, Rio Grande Do Norte, Brasil					
Ano: 2000					
Cobertura CDP - 48					
Intervalo de Amostragem 2 ms					
Formato de Gravação SegD Sistema de Medida: Metros					
Filtro - Passa Banda - Intervalo 3 Hz - 135 Hz					
Espaçamento: 10 m - 3280 m / Intervalo de Grupo 60 m					
Geofones por grupo 12 - Espaçamento 5 m					
Traços ordenados por registro					
Recuperação de amplitude não aplicada					
Projeção de Mapas UTM Zona 24					
Processamento: Formatação de SegD para SegY					
Coordenadas Inseridas					
Gravado em Fita					
Identificação dos Bytes no cabeçalho do traço					
Linha do traço	bytes	1-4	REEL_TRACE	bytes	5-8
Numero_registro	bytes	9-12	FIELD_SHOT	bytes	17-20
CDP	bytes	21-24	Cod._ID_Traço	bytes	29-30
Elev_Tiro	bytes	45-48	Esc._da Elev.	bytes	69-70
Esc._das coordeer.	bytes	71-72	Tiro_X	bytes	73-76
Tiro_Y	bytes	77-80	Unidade	bytes	89-90
Estatica do tiro	bytes	99-100	Primeira Quebra	bytes	109-110
Amos. por traço	bytes	115-116	taxa de amostragem	bytes	117-118
GRID X1	694948.00	Y1	9396730.00	X2	686902.60
Y2	9411066.80	Meridiano Central	-39.70	Y3	9420859.40
IL tamanhoBin	30.00	XL BINSIZE	30.00		
C39 DATUM	WGS-84	Código do DATUM	2	Código da projeção	1

**Tabela 2: EBCDIC do Seg-Y.**

### 8.1 Carregando o Seg-Y no Vista Seismic Data Processing 9.0.

Baseado no EBCDIC a geometria e o Bin estão inseridos no Seg-Y, iniciou-se então o processo para carregar o dado sísmico no *software*, o formato escolhido foi o *Stand Seg-Y Dictionary*. Ao tentar visualizar as localizações geográficas das estações e dos tiros, visando entender a execução do levantamento, somente as posições dos tiros conseguiram ser exibidas. Diante a essa circunstância analisou-se os cabeçalhos dos traços sísmicos e os seguintes resultados foram encontrados (Figura 27):

- As coordenadas geográficas (XREC,YREC,ZREC) estão corretas.
- As linhas de receptores (*RECEIVERLINE NUMBER*) possuem identificação número 1.
- Todas as estações (*FIELD STATION NUMBER*) contidas nas linhas dos receptores possuem numeração zero.

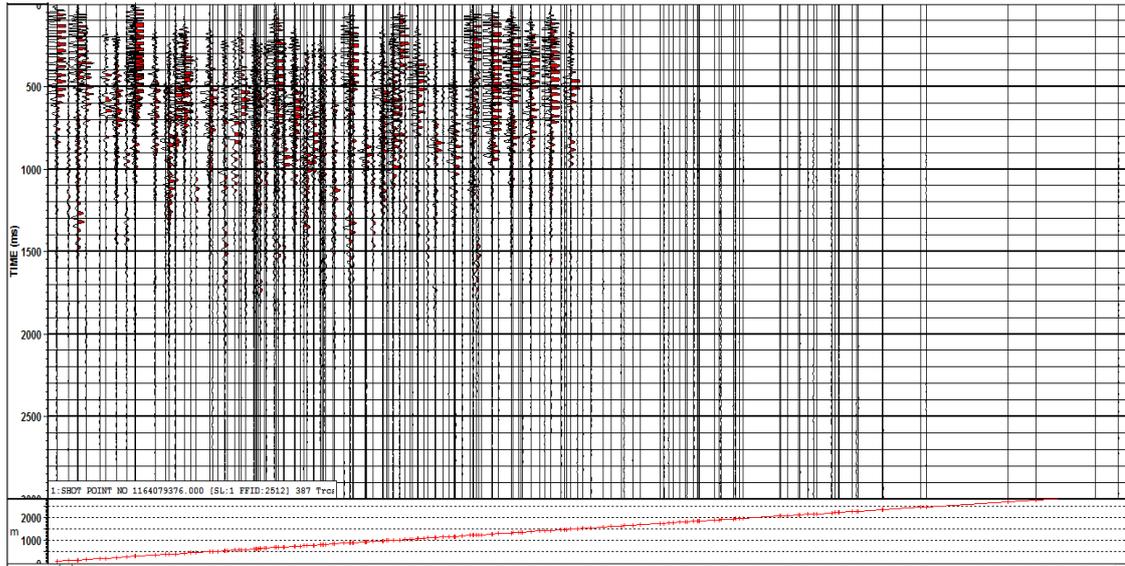
TRACE #	XREC	YREC	ELEV REC	RECEIVERLINE NUMBER	FIELD STATION NUMBER
4011	70782.000	941087.900	8.400	1.000	0.000
4012	70779.000	941093.200	8.400	1.000	0.000
4013	70776.100	941098.400	8.300	1.000	0.000
4014	70773.100	941103.600	8.200	1.000	0.000
4015	70770.200	941108.900	8.200	1.000	0.000
4016	70767.300	941114.000	8.100	1.000	0.000
4017	70764.300	941119.300	8.000	1.000	0.000
4018	70761.400	941124.500	7.900	1.000	0.000
4019	70758.500	941129.700	7.900	1.000	0.000
4020	70755.500	941135.000	7.800	1.000	0.000
4021	70752.600	941140.200	7.800	1.000	0.000
4022	70749.600	941145.400	7.700	1.000	0.000
4023	70746.700	941150.700	7.600	1.000	0.000
4024	70743.800	941155.900	7.600	1.000	0.000
4025	70740.800	941161.100	7.500	1.000	0.000
4026	70737.900	941166.400	7.500	1.000	0.000
4027	70735.000	941171.600	7.500	1.000	0.000
4028	70732.000	941176.800	7.400	1.000	0.000
4029	70729.100	941182.100	7.300	1.000	0.000
4030	70726.100	941187.300	7.200	1.000	0.000
4031	70723.200	941192.500	7.200	1.000	0.000
4032	70720.200	941197.800	7.100	1.000	0.000
4033	70717.300	941203.000	7.000	1.000	0.000
4034	70714.400	941208.200	6.900	1.000	0.000
4035	70711.400	941213.400	6.700	1.000	0.000
4036	70876.300	940968.900	9.600	1.000	0.000
4037	70873.400	940974.100	9.600	1.000	0.000
4038	70870.500	940979.400	9.600	1.000	0.000
4039	70867.500	940984.600	9.600	1.000	0.000
4040	70864.600	940989.900	9.600	1.000	0.000
4041	70861.700	940995.100	9.500	1.000	0.000

**Figura 27: Cabeçalho do traço sísmico (REC: Receptor. X,Y e Z: Coordenadas Geográficas. Trace: Traço Sísmico. Field Station Number: Numeração das Estações. ReceiverLine Number: Numeração da Linha de Receptor).**

Após a tentativa de carregar o dado sísmico no padrão *Stand Seg-Y Dictionary* falhar, optou-se pelo formato *Seg-Y Header Seismic (IBM)*. Inicialmente conseguiu-se verificar as posições dos tiros e das estações, podendo assim recalcular e renumerar os *Bins*, *In-Lines* e *Cross-Lines* na forma desejada.

As novas numerações dos *Bins*, *In-Lines* e *Cross-Lines* foram transcritas para os cabeçalhos dos traços sísmicos. O próximo passo foi a interpretação do sismograma, onde os traços sísmicos de um tiro foram ordenados segundo o espaçamento, e os erros encontrados foram:

- O sismograma não apresentou coerência.
- O espaçamento associado a cada traço sísmico não está correto.



**Figura 28: Sismograma no domínio do tiro ordenado segundo o espaçamento fonte-receptor: *Seg-Y Header Seismic (IBM)*. TIME: Tempo duplo(ms). O gráfico em vermelho representa o espaçamento fonte-receptor (m).**

Os padrões selecionados, *Stand Seg-Y Dictionary* e *Seg-Y Header Seismic (IBM)*, não apresentaram sucesso, por isso foi feito um estudo dos cabeçalhos dos traços sísmicos juntamente com o relatório de campo, obtendo-se o seguinte resultado:

- (1) As coordenadas geográficas referente as posições dos tiros e das estações estão inseridas corretamente,

- (2) Cada disparo da fonte possui identificação única,

- (3) As linhas de receptores com suas respectivas estações não estão identificadas,

- (4) O *In-Line* apresentou ordenação e o *Cross-Line* não.

As seguintes medidas foram executadas visando corrigir os problemas (3) e (4).

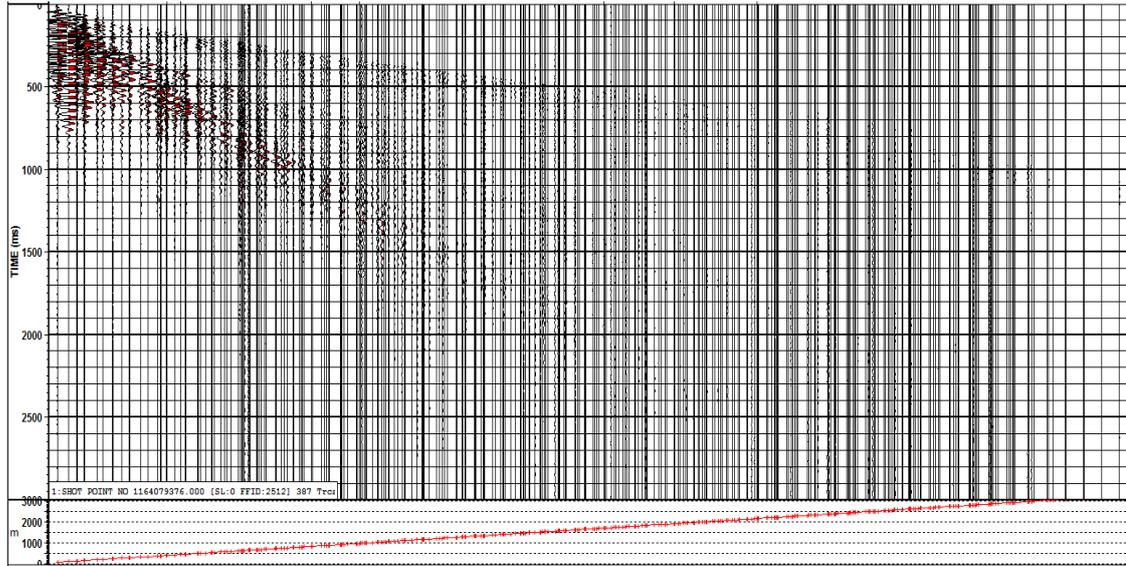
1 - Inseriu-se identificações nas linhas de receptores e suas respectivas estações (Tabela1). Para realizar este procedimento criou-se um arquivo onde as coordenadas geográficas foram associadas as numerações das estações e linhas de receptores.

2 - Concretizado a etapa 1, tornou-se possível renumerar os *In-Lines* e *Cross-Lines* além de recalcular os *Bins* e transcrever as novas informações nos cabeçalhos dos traços sísmicos.

Feitas as modificações, o sismograma apresentou os seguintes resultados (Figura 29):

- O sismograma apresentou coerência.

- Os espaçamentos associados aos traços sísmicos encontram-se corretos.

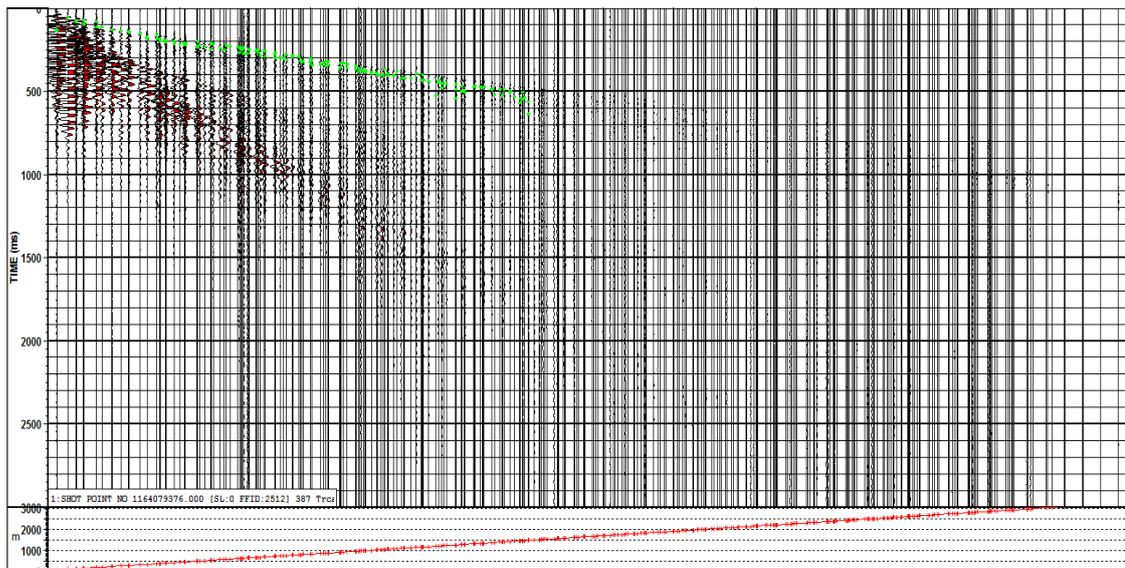


**Figura 29:** Sismograma no domínio do tiro ordenado segundo o espaçamento fonte-receptor: *Seg-Y* modificado. *TIME*: Tempo duplo (ms). O gráfico em vermelho representa o espaçamento fonte-receptor (m).

## 9 Resultados - Correção Estática

### 9.1 Primeira Quebra - Datum - Velocidade de Reposição

Os traços sísmicos pertencentes aos espaçamentos mais longos não apresentaram uma definição satisfatória para as marcações das primeiras quebras, dificultando a delimitação de uma tendência (Figura 30).



**Figura 30: quebra (Verde).** Sismograma no domínio do tiro ordenado segundo o espaçamento fonte-receptor. *TIME*: Tempo duplo (ms). O gráfico em vermelho representa o espaçamento fonte-receptor (m).

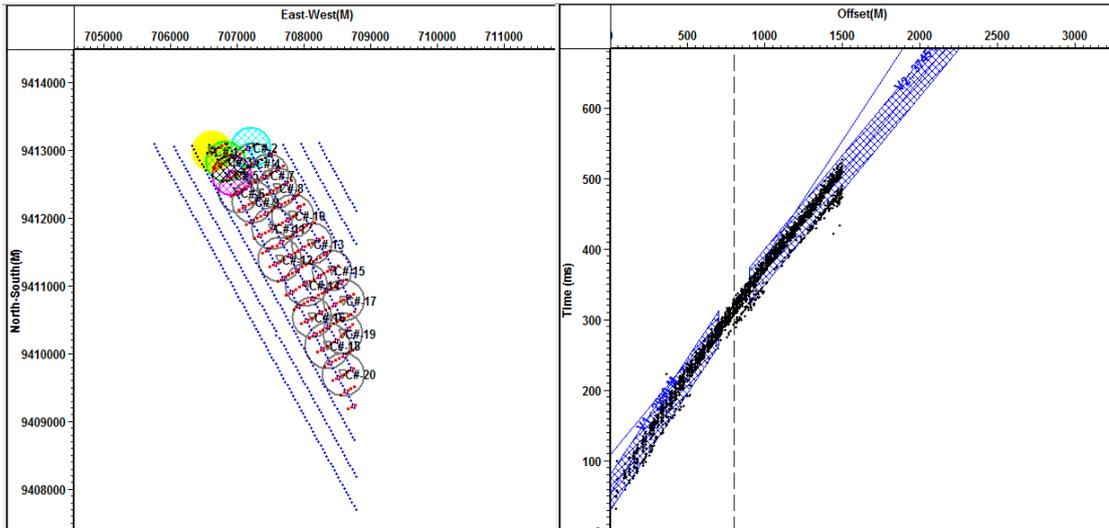
O próximo passo foi determinar o datum e a Velocidade de Reposição. Optou-se por um datum fixo com elevação de 100 m. A Velocidade de Reposição é encontrada no *Seg-Y* e seu valor corresponde a 3300 m/s.

### 9.2 Definição do Modelo

Através das sobreposições das primeiras quebras determina-se o número de camadas sedimentares e suas velocidades, permitindo derivar o modelo da ZBV. Cada primeira quebra está associada a um tiro. Em uma área que contenha 5 tiros, 5 primeiras quebras serão sobrepostas.

Foram feitas 20 circunferências com o raio de 300m. A origem de cada circunferência é a localização de um tiro (Figura 31).

Identificou-se duas camadas sedimentares nas sobreposições das primeiras quebras, as respectivas velocidades encontram-se na tabela 3.



**Figura 31: Definição do Modelo da ZBV. As 20 áreas delimitadas a esquerda. As primeiras quebras dos tiros contidos na circunferência amarela encontram-se a direita. (Time: tempo (ms). Offset: espaçamento fonte-receptor (m)).**

As circunferências no intervalo de 8 a 15 compõem a região central do levantamento. As velocidades de  $V_1$  elevaram-se para as primeiras quebras das áreas de 8 a 15. O comportamento das velocidades de  $V_2$  é o inverso das de  $V_1$ .

As variações das velocidades estão relacionadas as mudanças de profundidade da geologia ou do erro no processo das marcações das primeiras quebras.

Circunferência	$V_1$ (m/s)	$V_2$ (m/s)
1	2990	3745
2	3106	3606
3	3047	3672
4	3157	3633
5	3106	3657
6	3134	3616
7	3218	3583
8	3240	3554
9	3173	3520
10	3175	3537
11	3128	3489
12	3075	3552
13	3119	3611
14	3024	3689
15	3035	3492
16	2976	3781
17	2964	3676
18	2918	3836
19	2923	3787
20	2971	3795

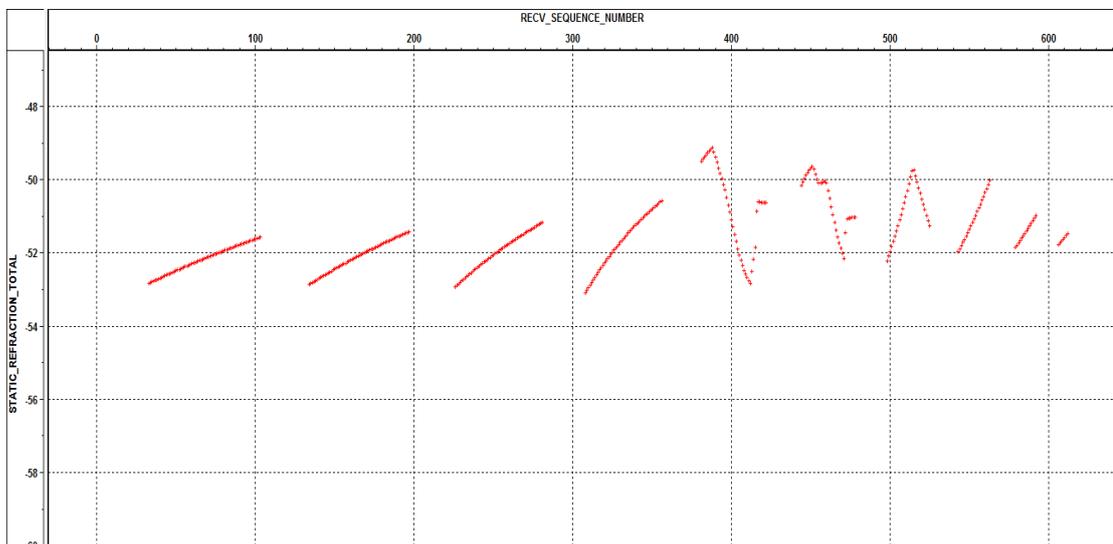
**Tabela 3: Velocidades das Primeiras Quebras.  $V_1$ : Primeira camada.  $V_2$ : Segunda camada.**

### 9.3 Tiro SE

Os gráficos das figuras 32 e 33 são as correções das estáticas de refração e elevação a serem aplicadas aos traços sísmicos originados pelo tiro SE (Figura 26).

#### 9.3.1 Estática de refração

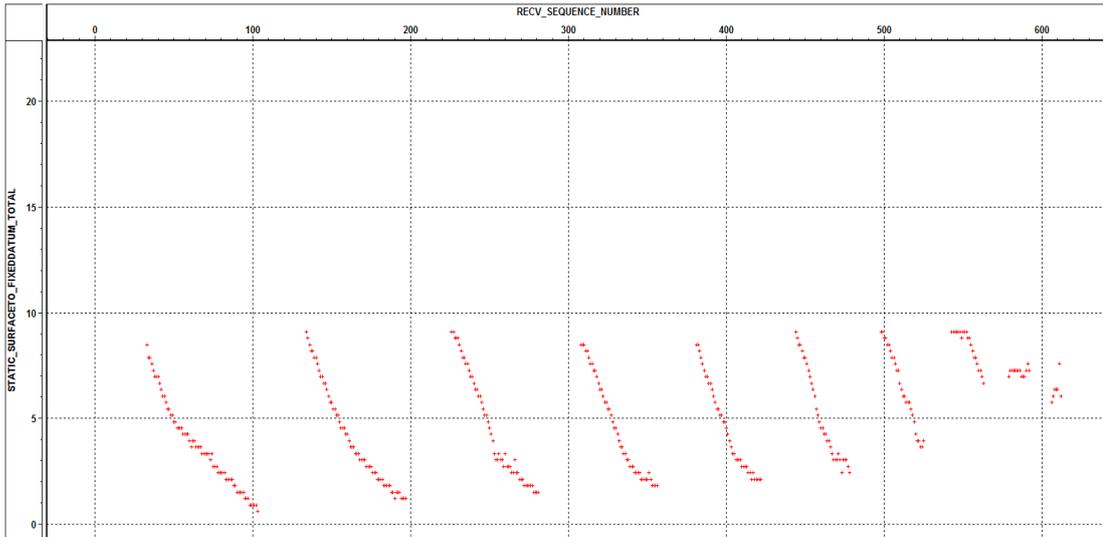
Os traços sísmicos das estações ao NW das linhas 393, 397, 401, 405, 421, 425 e 429 apresentaram correções maiores que os das estações ao SE. O oposto acontece aos traços sísmicos das estações das linhas 409, 413 e 417.



**Figura 32:** Correções da estática de refração(Tiro SE). *STATIC\_REFRACTION\_TOTAL*: Correção de Estática de Refração. *RECV\_SEQUENCE\_NUMBER*: Numeração da sequência de receptores.

#### 9.3.2 Estática de elevação

As correções da estática de elevação são menores que as da estática de refração, demandando assim menor tempo computacional na implementação. O padrão do comportamento encontra-se coerente com a topografia local.



**Figura 33:** Correções da estática de elevação (Tiro NW). *STATIC\_REFRACTION\_TOTAL*: Correção de Estática de Refração. *RECV\_SEQUENCE\_NUMBER*: Numeração da sequência de receptores.

#### 9.4 Tiro NW

Os gráficos das figuras 34 e 35 são as correções das estáticas de refração e elevação a serem aplicadas aos traços sísmicos originados pelo tiro NW (Figura 26).

##### 9.4.1 Estática de refração

Os traços sísmicos das estações ao NW das linhas 393, 397, 401, 405, 421, 425 e 429 apresentaram correções maiores que os das estações ao SE. Apesar do padrão de comportamento ser igual para as mesmas linhas do gráfico da figura 32, as correções do gráfico da figura 34 apresentaram valores maiores.

Os traços sísmicos das estações nas linhas 409, 413 e 417 possuem correções no intervalo e com mesmo padrão da área adjacente, ao contrário da análise anterior (Figura 32).

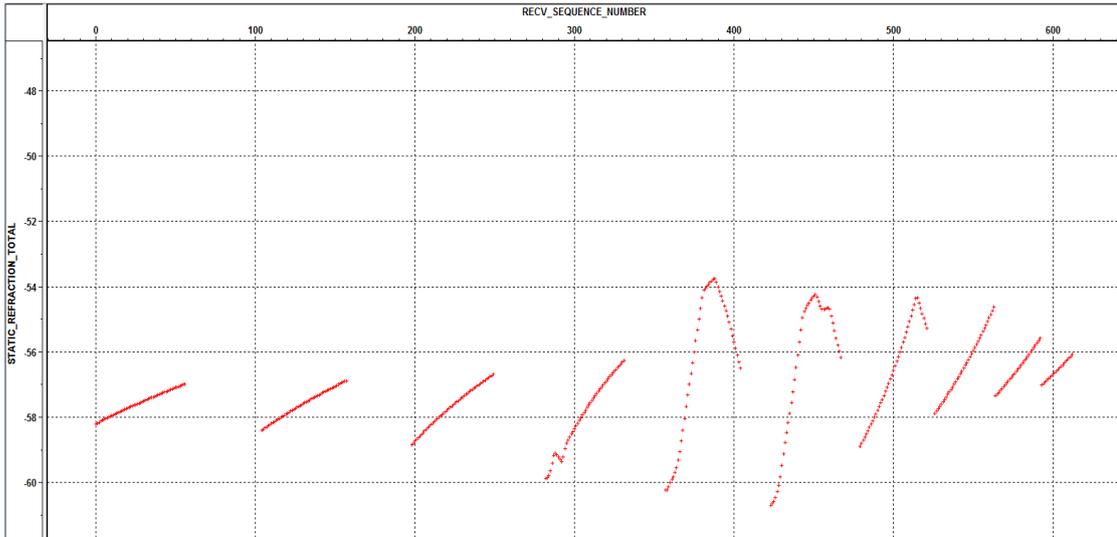


Figura 34: Correções da estática de refração (Tiro NW). *STATIC\_REFRACTION\_TOTAL*: Correção de Estática de Refração. *RECV\_SEQUENCE\_NUMBER*: Numeração da sequência de receptores.

#### 9.4.2 Estática de Elevação

As correções da estática de elevação apresentaram coerência com a topografia local.

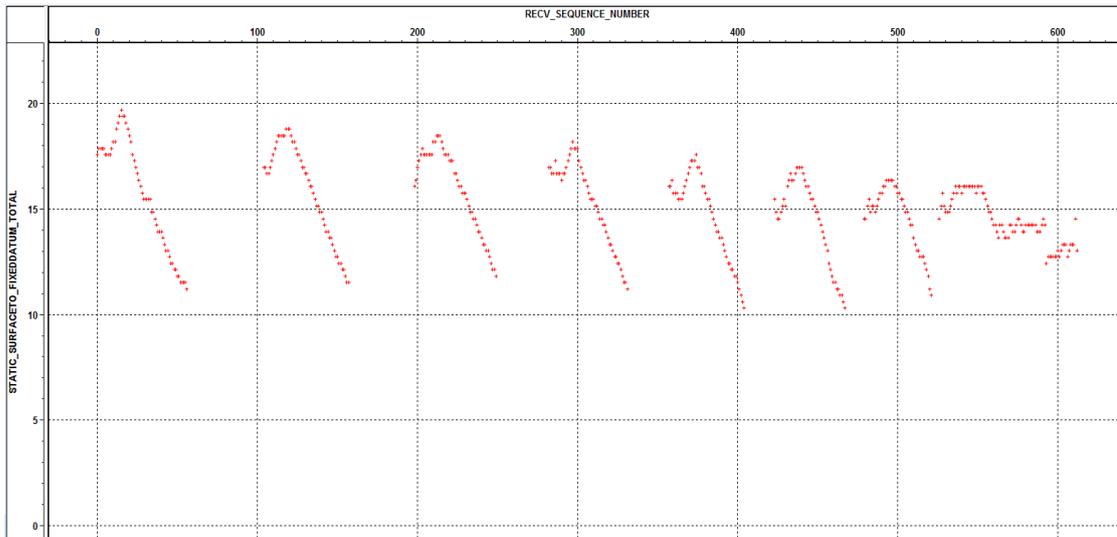


Figura 35: Correções da estática de elevação (Tiro NW). *STATIC\_REFRACTION\_TOTAL*: Correção de Estática de Refração. *RECV\_SEQUENCE\_NUMBER*: Numeração da sequência de receptores.

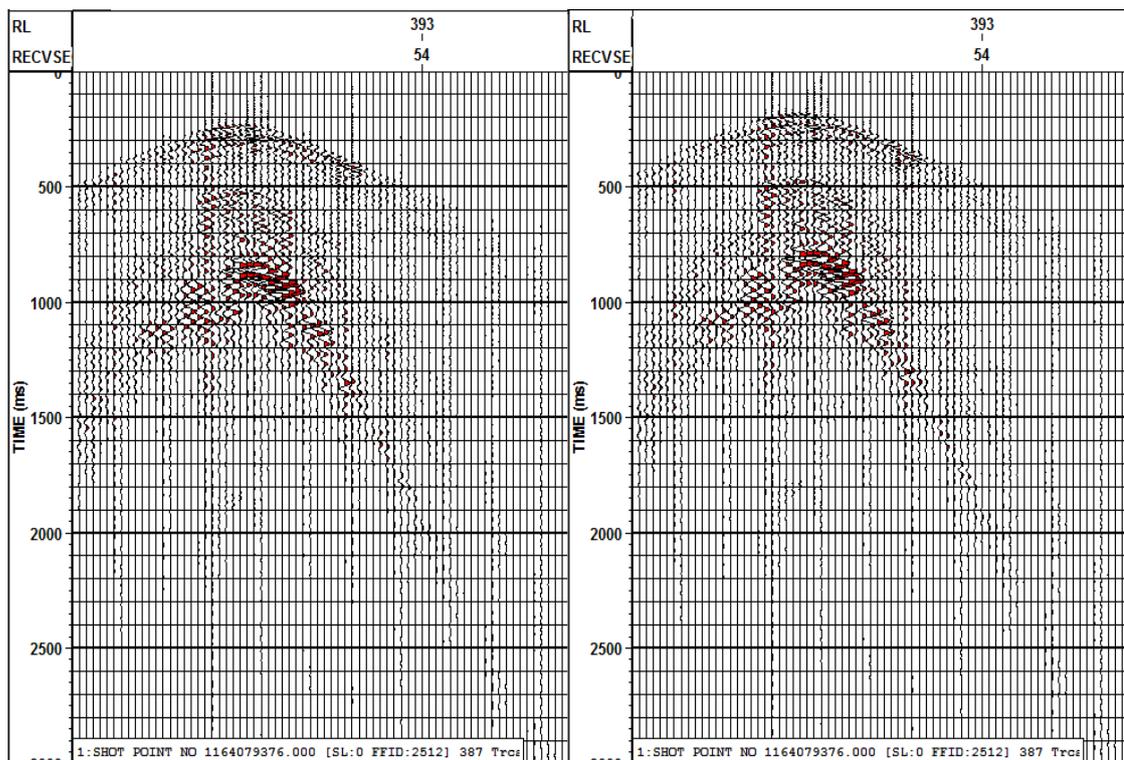
## 9.5 Aplicação das estáticas de refração e elevação.

### 9.5.1 Tiro SE

As correções das estáticas de refração e elevação dos gráficos das figuras 32 e 33 foram inseridas nos seus traços sísmicos. O sismograma foi reduzido, permanecendo os traços sísmicos das linhas 393 e 409. A modificação do sismograma foi feita com o objetivo de uma visualização mais detalhada.

As linhas 393 e 409 foram escolhidas, pois estão posicionadas na área adjacente (393) e central (409) da aquisição. Outra razão são as correções da estática de refração para as linhas selecionadas demonstrarem um padrão inverso (Figura 32).

O sismograma da linha 393 com a correção estática (refração e elevação) não apresentou uma melhora no comportamento hiperbólico das ondas refletidas (Figura 36).



**Figura 36: Sismograma linha 393 antes(esq.) e depois(dir.) da correção estática (Tiro SE). RL = linhas de receptores. RECSE = Numeração da sequência de receptores. TIME: Tempo (ms).**

No sismograma da linha 409 não evidenciou-se melhora no comportamento hiperbólico das ondas refletidas após o processamento (Figura 37). Antes de ser aplicada a

correção estática (refração e elevação) o dado não apresentava uma presença notável das ondas refletidas.

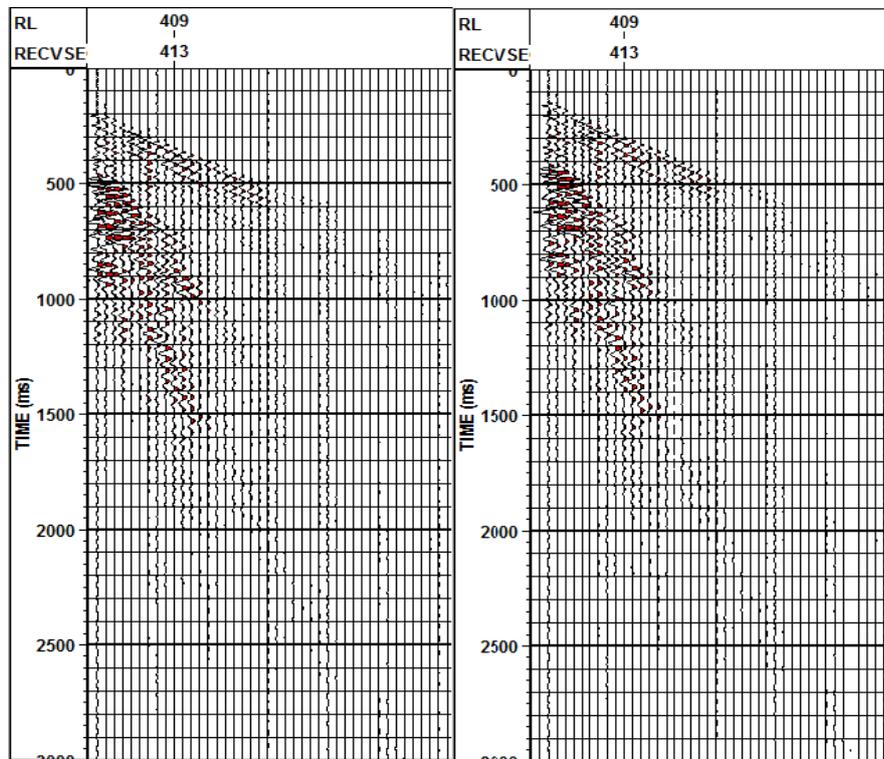


Figura 37: Sismograma linha 409 antes(esq.) e depois(dir.) da correção estática (Tiro SE). RL = linhas de receptores. RECVSE = Numeração da sequência de receptores. TIME: Tempo (ms).

### 9.5.2 Tiro NW

Os procedimentos feitos para as correções das estáticas de refração e elevação das figuras 32 e 33 foram repetidos para os gráficos das figuras 34 e 35.

O sismograma da linha 393 (Figura 38) e 409 (Figura 39) não apresentaram melhoria no comportamento hiperbólico das ondas refletidas.

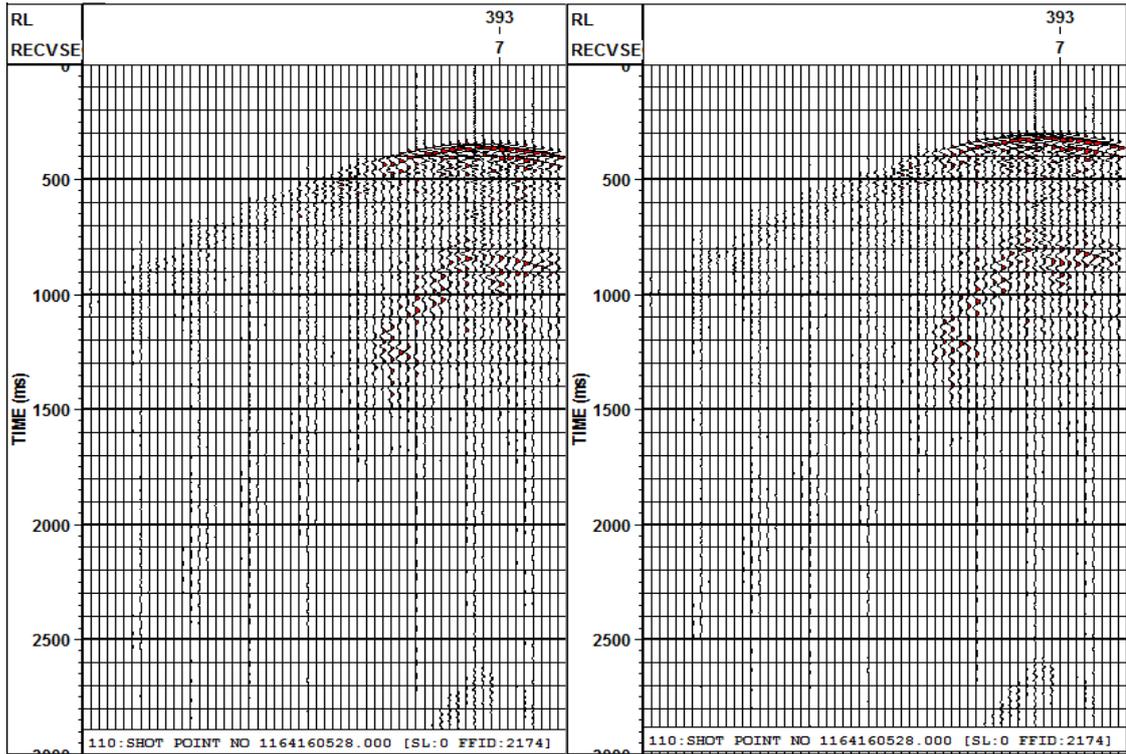


Figura 38: Sismograma linha 393 antes(esq.) e depois(dir.) da correção estática (Tiro NW). RL = linhas de receptores. RECVSE = Numeração da sequência de receptores. TIME: Tempo (ms).

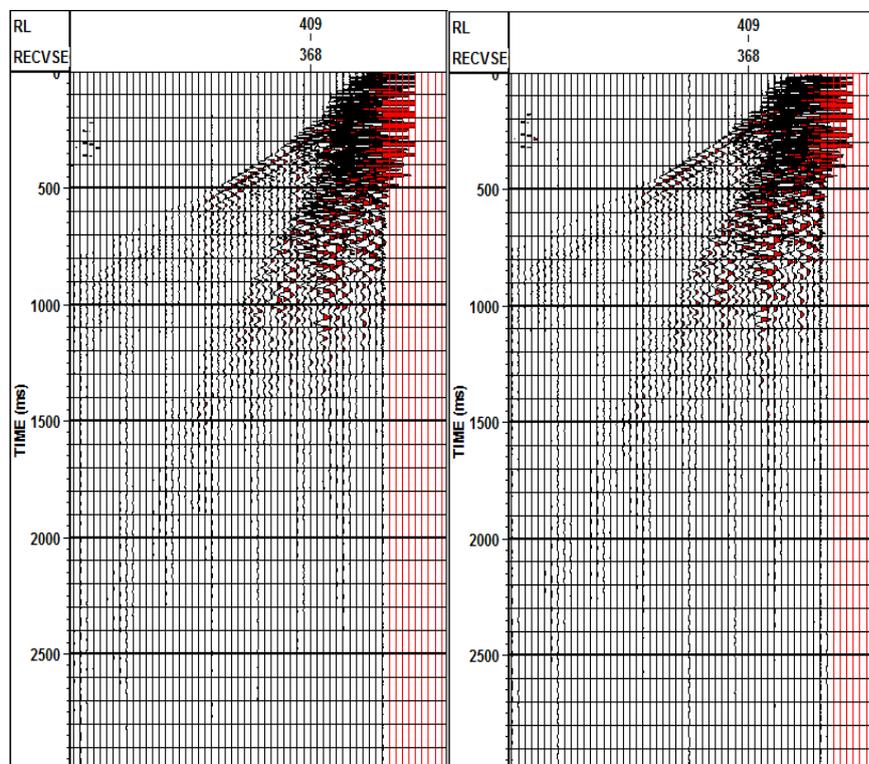


Figura 39: Sismograma linha 409 antes(esq.) e depois(dir.) da correção estática (Tiro SE). RL = linhas de receptores. RECVSE = Numeração da sequência de receptores. TIME: Tempo (ms). Os traços sísmicos em vermelho correspondem a outra linha e foram removidos para melhorar a visualização.

## 10 Resultados - Filtragem F-K.

O polígono de rejeição desenhado no plano ( $f, k$ ) é ilustrado na figura 40. O filtro F-K foi aplicado com o sismograma no domínio do tiro. Na figura 41 encontra-se os sismogramas antes e após a implementação do filtro F-K.

O filtro F-K conseguiu atenuar parcialmente as altas amplitudes do *Ground Roll*, contudo os dados sísmicos ainda apresentaram a presença do ruído coerente.

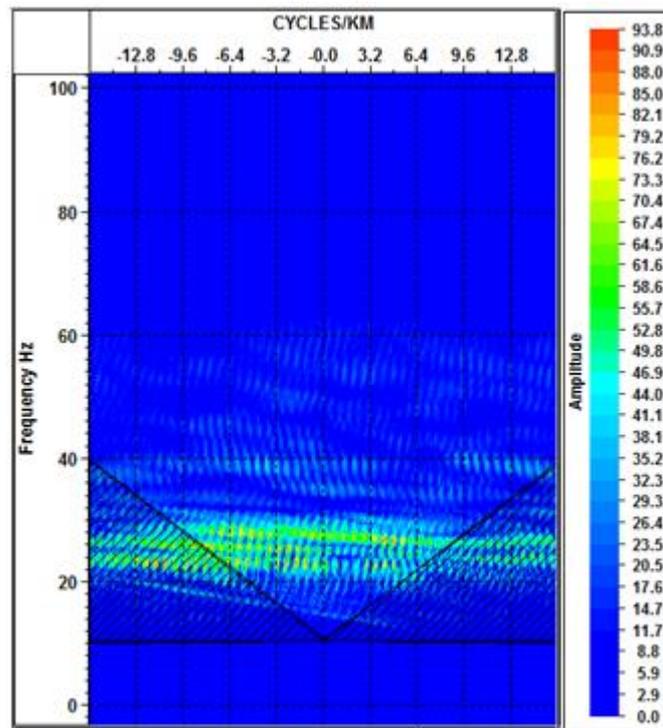


Figura 40: Polígono de rejeição no plano ( $f, k$ ) (Área hachurada). Domínio da fonte. Frequency: Frequência Hz. Cycles/KM: Ciclos/KM.

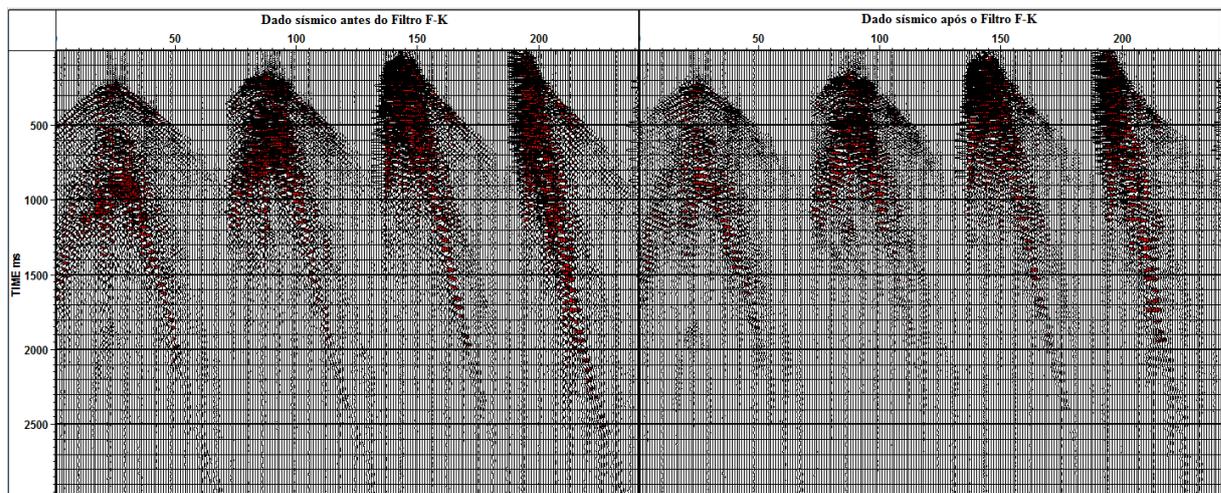


Figura 41: Dado de sísmico de entrada antes (Esq.) e após a aplicação do filtro F-K (Dir). Sismograma no domínio do tiro. TIME: tempo duplo (ms).

O filtro F-K foi novamente aplicado aos dados sísmicos, agora no domínio do receptor. Os dados sísmicos após a implementação do filtro F-K em dois domínios distintos, tiro e receptor, apresentaram uma presença menos acentuada do *Ground Roll* (Figura 43).

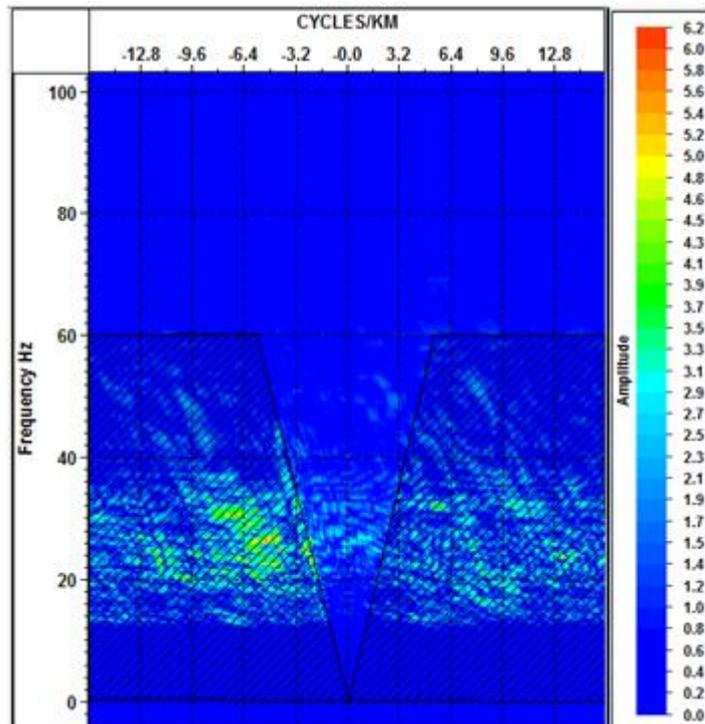


Figura 42: : Polígono de rejeição no plano (f, k) (Área hachurada). Domínio do Receptor. Frequency: Freqüência Hz. Cycles/KM: Ciclos/KM.

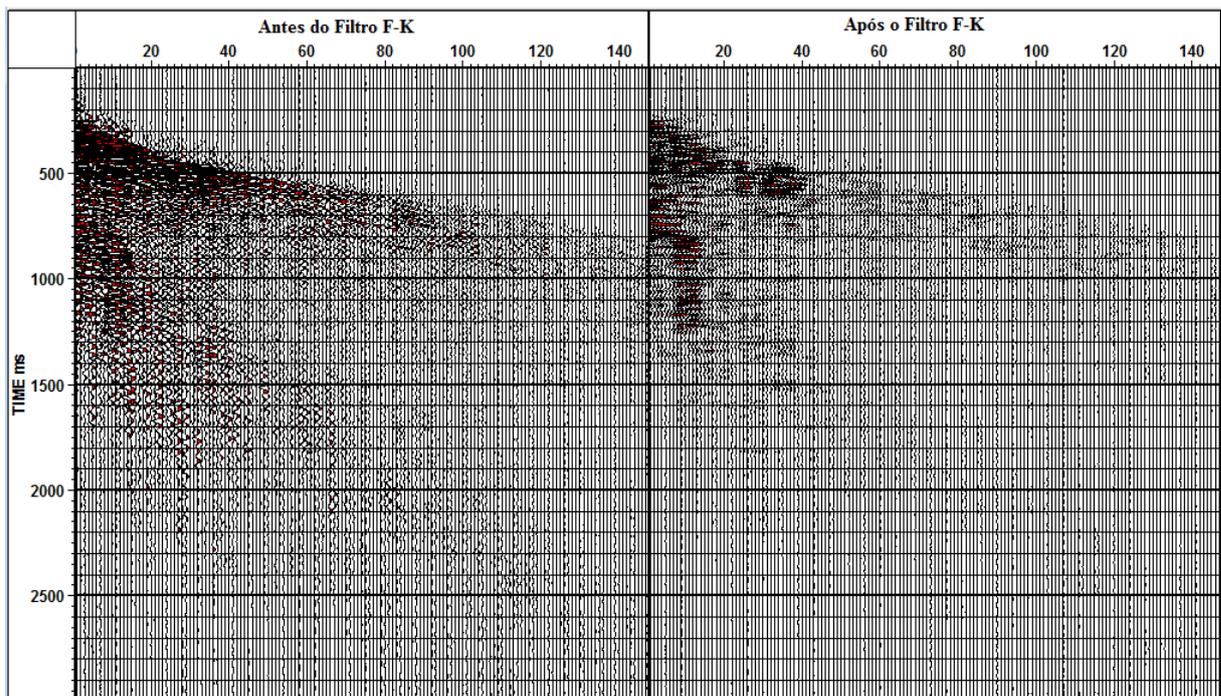


Figura 43: Sismograma antes (Esq.) e após o Filtro F-K (Dir.) Sismograma no domínio do receptor. *TIME*: tempo duplo (ms).

## 11 Resultados - Análise de velocidade.

O intervalo de velocidade utilizado foi de 2000 a 4500 m/s, espaçamento entre os traços sísmicos foi de 100 m e o intervalo de espaçamento máximo e mínimo foi de 200 até 3000 m. Aplicou-se o ganho do tipo AGC, janela de 400 ms, com o objetivo de balancear as amplitudes.

O *semblance* apresentou alguns picos de coerência nos tempos iniciais, contudo os traços sísmicos da ordenação em CMP demonstraram-se bem ruidosos. Mesmo a ordenação em CMP estando ruidosa tentou-se estabelecer um modelo de velocidade para os tempos iniciais. Para os tempos mais tardios do *semblance* foi feita uma extrapolação no modelo de velocidade, pois a princípio o interesse maior são os refletores iniciais para analisar a correção estática.

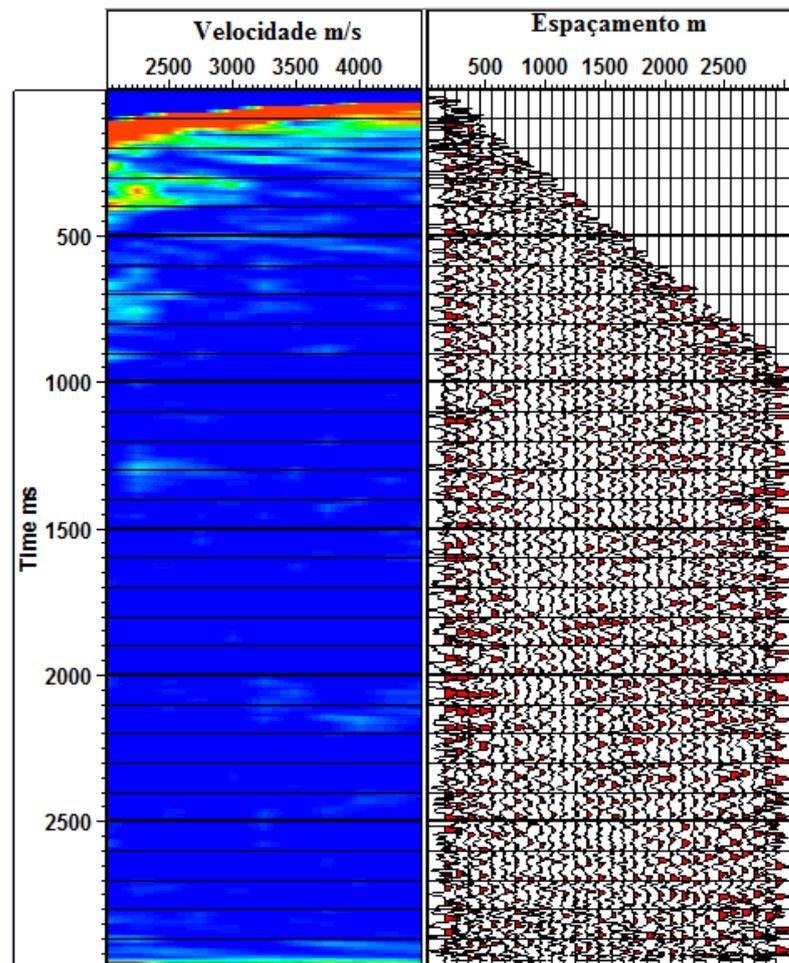


Figura 44: Análise de Velocidade. *Semblance* (Esq.) e Ordenação em CMP (Dir). Time: Tempo duplo (ms).

## 12 Resultados - Seção Sísmica

Com o modelo de velocidade definido aplicou-se a correção NMO seguido do empilhamento dos traços sísmicos. Antes de implementar a correção NMO inseriu-se um ganho do tipo AGC, janela de 400 ms, para realçar as amplitudes dos tempos mais tardios.

A figura 45 ilustra a seção sísmica correspondente ao *Cross-Line* (X-LINE) 38. As seções sísmicas do cubo sísmico apresentaram-se bastante ruidosas, contudo alguns refletos nos tempos iniciais (até 500 ms) foram observados.

As seções sísmicas não demonstram um resultado satisfatório para uma análise detalhada do processo da correção estática, sendo necessário um processamento de dados mais específico e complexo em relação ao fluxo de processamento proposto.

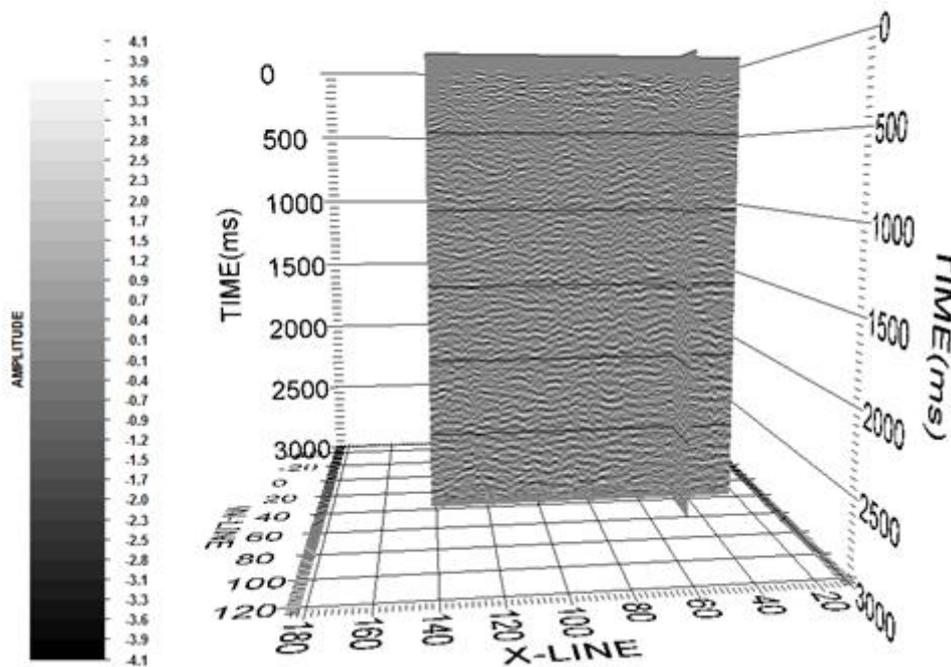


Figura 45: Cubo Sísmico. Time: Tempo duplo (ms).

### 13 Conclusão

O processo de carregar os dados sísmicos não teria êxito sem a leitura do EBCDIC e o estudo de como foi realizada a aquisição sísmica. Apesar do EBCDIC informar que a geometria encontrava-se inserida nos dados sísmicos, os formatos escolhidos para carregar o *Seg-Y* apresentaram incoerência. O estudo da aquisição sísmica possibilitou a reorganização parcial da geometria. A nova organização da geometria fez com que os dados sísmicos fossem carregados corretamente.

A correção estática aplicada não conseguiu melhorar o alinhamento do comportamento hiperbólico. Os gráficos utilizados na interpretação das correções das estáticas de refração e elevação demonstraram-se úteis na análise do processo, pois foram identificados padrões inesperados no processo da estática de refração.

A comparação entre os sismogramas antes e após a aplicação da correção estática (refração e elevação) comprovou que a correção estática inserida estava incoerente.

A filtragem F-K removeu o *Ground Roll*, porém o filtro também eliminou parte do sinal refletido. A análise de velocidade apresentou coerência no *semblance* para os tempos iniciais, contudo a ordenação em famílias de CMP apresentou-se bastante ruidosa. A seção sísmica não foi utilizada como critério de avaliação da correção estática, pois apresentava-se bastante ruidosa.

Portanto, é necessário refazer a correção estática e aplicar diferentes técnicas de processamento para obter uma seção sísmica mais coerente.

## 14 Referências Bibliográficas

BADLEY, M. E. *Practical Seismic Interpretation*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1985. p. 1-33.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. *An Introduction to Geophysical Exploration*. BlackWell Science Ltda, Oxford, terceira edição, 2002. p. 53-180.

MARSDEN, D. *Static corrections - a review*. The Leading Edge, p. 43-49, Janeiro, 1943.

NORRIS, M. W.; FAICHNEY, A. K. *SEG-Y 1 Data Exchange format<sup>1</sup>*. Society of Exploration Geophysicist, p. 1-37, Maio, 2002.

PESSOA NETO, O. *et al. Boletim de Geociências da Petrobras*. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n 2, 2007. p. 357-370.

SILVA, M. G.; PORSANI, M. J. Aplicação de *balanceamento espectral e DMO no processamento sísmico da bacia do Tacutu*. Revista Brasileira de Geofísica, v. 24, n. 2, p. 273-290, 2006.

SOARES, U. M.; ROSSETI, E. L; CASSAB, R. T. *Bacias sedimentares brasileiras*. Fundação Paleontológica Phoenix, v. 5, n 56, 2003.

YILMAZ, O. *Seismic Data Processing*. Society of Exploration Geophysicist, Tulsa, primeira edição, 1987.

<http://www.anp.gov.br>