



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

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DA
TOPOGRAFIA E DA ESPESSURA DA ZBV
NA OBTENÇÃO DA IMAGEM SÍSMICA -
EXEMPLOS EM DADOS SINTÉTICOS E
REAIS DA BACIA DO RECÔNCAVO

CLÉRISTON SILVA GAMA

SALVADOR – BAHIA
DEZEMBRO – 2016

**Influência das Variações da Topografia e da Espessura da ZBV na Obtenção da
Imagem Sísmica - Exemplos em Dados Sintéticos e Reais da Bacia do
Recôncavo**

por

CLÉRISTON SILVA GAMA

Orientador: Prof. Dr. Milton José Porsani

Co-orientador: Mc. Manoel Gontijo dos Santos

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA
DO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Comissão Examinadora

Dr. Milton José Porsani

Mc. Manoel Gontijo dos Santos

Dr. Michelangelo Gomes da Silva

Data da aprovação: 15/12/2016

Dedico este trabalho aos meus pais
que sempre estiveram comigo.

Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar a onde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz.
(Bill Gates)

As almas de todos os homens são imortais, mas as almas dos homens justos são imortais e divinas.
(Sócrates)

Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.
(Henry Ford)

A grande finalidade da vida não é o conhecimento, mas a ação.
(Thomas Huxley)

Há homens que lutam um dia e são bons, há outros que lutam um ano e são melhores, há os que lutam muitos anos e são muito bons. Mas há os que lutam toda a vida e estes são os inigualáveis.
(Bertolt Brecht)

Se A é o sucesso, então A é igual a X mais Y mais Z. O trabalho é X; Y é o lazer; e Z é manter a boca fechada.
(Albert Einstein)

Se vi mais longe foi porque estive sobre o ombro de gigantes.
(Isaac Newton)

A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.
(John Ruskin)

Lute. A vida não será mais fácil pra você só porque é uma boa pessoa, por isso nunca deixe de lutar pelos seus objetivos.
(Clériston Silva Gama)

RESUMO

Neste trabalho serão apresentados resultados baseados na modelagem e processamento de dados sísmicos sintéticos e um dado real. Isso para analisar os efeitos da contribuição das correções estáticas de campo e residual, e quando esta pode ser desprezada ou não, mediante comparação dos resultados, mostrando ao usuário a contribuição de sua aplicação e as consequências que se acometerão por isso ou “preço” que pagará caso não a aplique. Este trabalho apresentará o processamento completo de uma linha sísmica real e também a modelagem direta de quatro dados sintéticos. A linha sísmica real escolhida para o mesmo foi a linha 2D 26-RL-1993 localizada no Compartimento Nordeste da Bacia do Recôncavo, disponibilizada ao LAGEP/UFBA (Laboratório de Geofísica de Exploração de Petróleo) pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) para fins de desenvolvimento acadêmico. Tanto a modelagem direta quanto os processamentos feitos no dado sísmico real e sintético foi utilizado o *software ProMAX/SeisSpace* desenvolvido pela Landmark-Halliburton. Durante o processamento foram aplicadas etapas como: geometria, edição, correções de tempo, análise de velocidade, empilhamento, migração além de várias técnicas de filtragens e correções de amplitude. Na fase da modelagem foram criados modelos em diferentes situações para análise das correções estáticas, etapa de suma importância para o processamento de dados sísmicos terrestres.

ABSTRACT

This paper will present results based on the modeling and processing of Seismic data and a real data. This is to analyze the effects of the Static and residual field corrections, and when it can be neglected or not, Comparison of the results, showing the user the contribution of its application And the consequences that will be faced by it or "price" Which you will pay if you do not apply it. This work will present the complete processing of a real seismic line and also the Modeling of four synthetic data. The actual seismic line chosen for the same Was the 2D line 26-RL-1993 located in the Northeastern Compartment of the Recôncavo Basin, Available to LAGEP / UFBA (Laboratory of Geophysics of Oil Exploration) By the ANP (National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels) for development academic. Both direct modeling and processing Data, the ProMAX / SeisSpace software developed by Landmark-Halliburton. During processing, the following steps were applied: geometry, Editing, time corrections, speed analysis, stacking, migration beyond several Stretching techniques and amplitude corrections. In the modeling phase, In different situations for the analysis of static corrections, a very important step for Ground seismic data processing.

ÍNDICE

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 Prólogo, Conceitos Básicos e Revisão Teórica	3
1.1 Zona de Baixa Velocidade (ZBV)	3
1.2 Efeitos da ZBV e Topografia nos Tempos das Reflexões Sísmicas e Correção Estática	5
1.3 Correções Estáticas e ZBV	6
1.4 Fatores que alteram a topografia e a ZBV	8
1.5 Determinações dos datuns e as correções estáticas	8
CAPÍTULO 2 Etapas do Fluxo de Processamento Sísmico Terrestre	11
2.1 Aquisição de dados	11
2.2 Processamento dos Dados	12
2.3 Pré-Processamento	14
2.3.1 Geometria	14
2.3.2 Edição	14
2.3.3 Filtragens I	14
2.3.4 Correções de Amplitude I	17
2.4 Processamento Avançado	19
2.4.1 Análise de velocidade	19
2.4.2 Correção de NMO	22
2.4.3 Empilhamento	22
2.4.4 Migração	23
2.4.5 Correções de Amplitude II	23
2.4.6 Filtragens II	23

CAPÍTULO 3	Aplicação em Dados Sintéticos	26
3.1	Modelagem Sísmica	27
3.2	Dados Sísmicos Sintéticos	28
3.2.1	Modelo 1	28
3.2.2	Modelo 2	38
3.2.3	Modelo 3	50
3.2.4	Modelo 4	62
CAPÍTULO 4	Aplicação em Dado Real	72
4.0.1	Correções Estáticas	72
4.1	Comparação Antes e Após a Correção Estática de Campo	73
4.1.1	Estática Residual	77
CAPÍTULO 5	Conclusões	82
Agradecimentos		83
APÊNDICE A	Tutorial	85
Referências Bibliográficas		113

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Camadas da ZBV. (Souza, W. E. 2016).	4
1.2	Efeitos da topografia e da ZBV em um refletor horizontal. Extraído de Correções Estáticas (AMORIM e SANTOS, 2007).	6
1.3	Podemos ver o datum flutuante em destaque como linha tracejada que pode ser maior ou menor que as posições da fonte e dos receptores e por isso pode ser positivo (somar um tempo por estar acima da linha dos receptores) e negativo (subtrair os tempos por estar abaixo da linha dos receptores). Extraído do site inter-geo.org	9
1.4	Topografia/elevação da linha sísmica (em vermelho), <i>datum</i> flutuante (em azul) e <i>datum</i> final (em verde).	10
2.1	Parâmetros de aquisição como lançamento, estações, canais e disposição do arranjo	11
2.2	Localização geográfica da linha sísmica 26-RL-1993 na Bacia do Recôncavo (destacada em vermelho). Modificada do site Brasil Rounds-ANP.	12
2.3	Fluxo utilizado para o processamento do dado real	13
2.4	Sismograma antes da aplicação dos processos de deconvolução e balanceamento espectral (I) e após a aplicação (II).	16
2.5	Sismogramas de tiro 301 e 321 sem a aplicação do AGC	17
2.6	Sismogramas de tiro 301 e 321 com a aplicação do AGC	18
2.7	Sismogramas de tiro 1, 21 e 41 sem a aplicação do OAR.	18
2.8	Sismogramas de tiro 1, 21 e 41 com a aplicação do OAR.	19
2.9	Análise de velocidade em um CDP qualquer em (I). Em (II) vemos a aplicação da correção de NMO, já com aplicação de mute.	20
2.10	Campo de velocidade gerado através da interpolação dos resultados obtidos na análise de velocidade.	21
2.11	Seção final migrada com correções de amplitude e filtragens finais.	25
3.1	Campo de Velocidades Intervalar do modelo 1. Na primeira camada a ZBV, na verde a Sub-ZBV e em vermelho o embasamento.	29
3.2	Plote dos horizontes 1 e 3 no campo de velocidades intervalar do modelo 1, utilizados para criar as interfaces na modelagem	30
3.3	Figura indicando os eventos no sismograma de reflexão como a onda direta (800 m/s), a onda refrata (2600 m/s) e a segunda reflexão com velocidade "rms" de aprox. 2800 m/s.	32

3.4	Campo de Velocidades Rms obtido através do processo de análise de velocidade referente ao modelo 1.	34
3.5	Seção de offset comum com a aplicação de mutes internos para a onda direta e os efeitos de borda ocasionados pela modelagem por diferenças finitas. . . .	35
3.6	Seção empilhada do modelo 1 até o tempo de três segundos.	36
3.7	Seção empilhada do modelo 1 com zoom no tempo até 1300 ms para focar mais nas reflexões.	37
3.8	Tiro 1 para o modelo 2, acima tem-se a variação da topografia na escala em metros.	39
3.9	Comparação do tiro 10 com e sem a aplicação da estática.	41
3.10	Comparação do tiro 49 com e sem a aplicação da estática.	43
3.11	Seção empilhada do modelo 1 com zoom no tempo até 1300 ms para focar mais nas reflexões.	44
3.12	Seção empilhada do modelo 2 apenas com a geometria e sem aplicação da estática.	46
3.13	Seção empilhada do modelo 2 com a aplicação da estática.	47
3.14	Topografia da linha sísmica (em vermelho) aplicada ao modelos 2 e 4. . . .	49
3.15	Campo do modelo 3 com o horizonte da base da ZBV plotado no mesmo. . .	51
3.16	Tiro 32 do modelo 3 para apresentação dos erros estáticos e com a chave de elevação dos receptores acima.	53
3.17	Sismograma do tiro 32 do modelo 3, com a aplicação da estática a direita e sem a aplicação da mesma a esquerda.	55
3.18	Sismograma do tiro 200 do modelo 3, com a aplicação da estática a direita e sem a aplicação da mesma a esquerda.	57
3.19	Sismograma do tiro 386 do modelo 3, com a aplicação da estática a direita e sem a aplicação da mesma a esquerda.	59
3.20	Seção empilhada do modelo 3 com a aplicação da correção estática de intemperismo.	61
3.21	Modelo 3 a esquerda e modelo 4 a direita.	63
3.22	Modelo 4 sem a aplicação da estática a esquerda e com a aplicação da estática a direita.	65
3.23	Seção empilhada do modelo 4 sem a aplicação da estática de campo.	67
3.24	Seção empilhada do modelo 4 com a aplicação da estática de campo.	68
3.25	Seção empilhada do modelo 4 com a aplicação da estática residual.	70
4.1	Sismogramas antes (I) e após a aplicação da correção estática (II). Acima temos a variação topográfica com sua escala em metros.	74
4.2	Sismogramas com tiros 1, 21 e 41 sem a aplicação da correção estática de campo.	75
4.3	Observe o alinhamento do tempo das primeiras quebras após a correção. . .	75

4.4	Sismogramas com os tiros 221 e 241 antes da aplicação da correção estática de campo.	75
4.5	Aplicação da correção estática de campo linearizando os tempos de reflexão.	76
4.6	Sismogramas antes da aplicação da correção estática, somente com a geometria feita nos tiros 301 e 321.	76
4.7	Mostrando a aplicação e o efeito da correção estática de campo.	76
4.8	Definições dos horizontes escolhidos para o cálculo da estática residual.	78
4.9	Corte de uma mesma região comparando, antes da estática residual em (I) e após sua aplicação em (II).	80
A.1	Figura 1: Mostrando o módulo para construção do sismograma sintético preliminar.	89
A.2	Figura 2: Parametrização do Módulo de Geração do Sismograma Sintético Preliminar.	90
A.3	Figura 3: Mostrando as opções de como rodar um fluxo a depender da parametrização do <i>software</i> na máquina.	91
A.4	Figura 4. Passo para a visualização do dado sintético preliminar.	91
A.5	Figura 5. Visualização do Sismograma Sintético Preliminar na opção de <i>Wiggle Trace</i>	92
A.6	Figura 6: Módulo para se fazer a geometria para o Sintético Preliminar.	93
A.7	Figura 7: Fluxo para geração do campo de velocidades.	94
A.8	Figura 8: Parametrização de um dos módulos.	95
A.9	Figura 9: Criando a tabela/campo de velocidade.	95
A.10	Figura 10: Tipo escolhido para tabela de velocidade.	96
A.11	Figura 11: Mostrando a ativação apenas do primeiro módulo.	96
A.12	Figura 12. <i>Display</i> do campo de velocidade (CDP x <i>Depth</i>).	97
A.13	Figura 13: Tabelas de campo já feitas.	98
A.14	Figura 14: Botão para inserção do número de linhas para a edição.	98
A.15	Figura 15: Tabela preenchida mostrando todas as colunas.	99
A.16	Figura 16: Passos para o preenchimento da coluna de profundidade.	99
A.17	Figura 17. Parâmetros de operação para manipulação da tabela.	100
A.18	Figura 18: Campo de Velocidade.	101
A.19	Figura 19: Parametrização do módulo <i>Velocity Viewer/Point Editor</i>	101
A.20	Figura 20. Campo que será replicado para todos os CDPs.	102
A.21	Figura 21. Parametrização para replicar a velocidade a todos os CDPs.	103
A.22	Figura 22. Campo de velocidade editado final.	104
A.23	Figura 23. Mostrando a marcação da 3 ^o caixa ou botão de seleção a esquerda em negrito.	105
A.24	Figura 24. Janela para inserção dos parâmetros do seu modelo final.	107
A.25	Figura 25. Campo de velocidade após inserção dos parâmetros.	108

A.26	Figura 26: Mostrando o módulo para suavização de horizontes e sua configuração.	108
A.27	Figura 27: Visualização para comparação do horizonte original e o mesmo suavizado.	109
A.28	Figura 28: Módulo usado na modelagem por diferenças finitas e seus parâmetros.	111
A.29	Figura 29: Visualização do sintético na opção de Variable Density em Grayscale em vez de Wiggle.	112

INTRODUÇÃO

A correção estática é uma correção de tempo fixo aplicada aos traços de um agrupamento CMP. É o processo mais corriqueiro, no que se diz respeito às distorções no tempo de trajeto associada às camadas superficiais, deslocamentos verticais de tempo nos traços sísmicos de um agrupamento CMP, feitos de forma a simular a aquisição em uma elevação constante. A determinação precisa da correção estática é um dos problemas mais importantes que devem ser resolvidos no processamento sísmico terrestre (Cox,2001). Com o passar do tempo essa correção foi usada mais e mais vezes e seus algoritmos foram sofrendo alterações, sendo melhorados e métodos variados também criados. A correção estática é realizada resultando na aproximação dos dados como se a aquisição fosse realizada numa superfície plana ou datum. Para isso são necessárias informações como a velocidade do meio, logo após a zona de baixa velocidade, altitude do ponto de tiro e receptores, além das velocidades e espessuras da ZBV nesses pontos. A alta redundância da técnica CDP inerente à aquisição sísmica favorece o processo de determinação das correções estáticas, ou seja, trata-se de um problema em que normalmente dispõe-se de um número substancialmente maior de equações do que de incógnitas e que por isso nos permite a aplicação de algoritmos sofisticados. Em muitos casos é conveniente a aplicação de um processo secundário da correção estática a correção estática residual, que é feita após todo o fluxo normal de processamento para uma melhor precisão dos efeitos que não foram corrigidos durante a aplicação das correções estáticas de campo. Conforme já foi citado, existem as correções estáticas de campo e correções estáticas residuais e estas devem ser aplicadas aos dados para se corrigir dois principais problemas que são intrínsecos à própria aquisição, mas que causam efeitos indesejáveis nos dados, um deles é a variação da topografia que altera os tempos de trânsito da onda sísmica conforme a sua variação e também os efeitos da Zona de Baixa Velocidade (ZBV) que atenuam o sinal e também o tempo de trânsito das ondas sísmicas. Enquanto que as correções estáticas de campo são aplicadas ainda no pré-processamento e corrigem efeitos da variação da topografia, seus efeitos nos tempos de trânsitos e também efeitos de intemperismo na ZBV, as correções estáticas residuais assim como o processo de análise de velocidade residual, é aplicada nas etapas de processamento avançado, leva em consideração a definição da consistência superficial e diz que uma mesma correção estática de tiro em uma determinada posição superficial, deve ser a mesma independentemente da posição dos vários receptores e igualmente a correção estática do receptor em uma dada posição deve ser a mesma para o sinal vindo de vários pontos de tiros. Geralmente, as correções estáticas só são associadas a dados sísmicos terrestres e não a marítimos. Embora no processamento desse tipo de dado, desprezam-se duas distorções

passíveis de serem tratadas de forma similar à das correções estáticas. Uma delas é associada às profundidades de cabo e da fonte e a outra é uma distorção causada pelas marés. Dos métodos geofísicos utilizados pela indústria para a obtenção das correções estáticas, o mais preciso e mais viável economicamente é a definição da correção estática a partir das primeiras quebras dos sismogramas de reflexão, pois as primeiras quebras correspondem as ondas diretas e as refrações críticas. Fundamentalmente, com o uso das primeiras quebras dos sismogramas de reflexão a quantidade de curvas de afastamento é muito grande, aumentando assim portanto a redundância de informações sobre a ZBV e esta redundância pode ser aproveitada por métodos de inversão por mínimos quadrados por exemplo. A qualidade da definição da estática calculada está diretamente relacionada à qualidade da picagem dos refratores. *Softwares* avaliam as velocidades médias das primeiras quebras, restritas ao refrator selecionado na picagem, aplicando assim então um deslocamento de tempo adequado, ou seja, remove o delay originado pela ZBV. A grande maioria dos algoritmos utilizados pelas companhias de processamento para o cálculo das estáticas residuais se baseia na consistência superficial aplicada aos erros estáticos que em conjunto com a grande redundância de dados adquiridos através da técnica CDP asseguram o sucesso destes processos.

CAPÍTULO 1

Prólogo, Conceitos Básicos e Revisão Teórica

Em geral a parte mais superior da crosta terrestre, o pacote aflorante composto por material rochoso de espessura variável, lateralmente heterogênea e na qual as velocidades das ondas sísmicas são muito baixas é conhecido por causar grandes distorções nas ondas elásticas. É tema recorrente de estudo e a determinação precisa ou aproximada de suas características com o objetivo de se desenvolver métodos cada vez mais eficazes para reduzir ou amenizar o seu efeito nos dados sísmicos. Esta porção da crosta terrestre é conhecida como Zona de Baixa Velocidade (ZBV), Camada de Baixa Velocidade, Zona Intemperizada ou ainda Camada Superficial Heterogênea na exploração sísmica e é constituída por rochas total ou parcialmente decompostas pela ação de diversos tipos de intemperismo (químico, físico e biológico) que causam modificações profundas nas suas propriedades elásticas originais. Vale ressaltar que não é a mesma zona de baixa velocidade da geologia que nomeia a zona próxima a base da litosfera indo até parte da astenosfera, mas sim a parte superior da crosta onde aqui será comumente abreviada como ZBV. A variação das elevações do terreno e a geologia próxima à superfície é geralmente muito variável, principalmente devido a diferenças no grau de intemperismo, aos depósitos superficiais inconsolidados, à variação da profundidade do nível freático e principalmente, a ZBV. Os deslocamentos nos tempos das reflexões, causados pelas variações da topografia e da Zona de Baixa Velocidade devem ser determinados a princípio com precisão, para que os dados sísmicos sejam corrigidos de efeitos indesejáveis nos dados sísmicos. Essas correções denominadas de correções estáticas, representam uma das etapas mais importantes do processamento sísmico terrestre já que a precisão destas correções é um fator limitante da qualidade das seções sísmicas finais.

1.1 Zona de Baixa Velocidade (ZBV)

O entendimento da ZBV é de suma importância para a aplicabilidade das correções estáticas e também não podemos falar de correções estáticas sem a citarmos. A Zona de Baixa Velocidade é uma camada intemperizada onde a velocidade das ondas sísmicas são bastante reduzidas devido a sua característica intemperizada e friável e as ondas sísmicas possuem velocidades da ordem de 200 a 1500 m/s. Isso mesmo, você deve esta se perguntando como

heterogeneidade lateral e vertical provocando deformações na frente de onda a medida que esta se propaga e ser um meio bastante dispersivo e bastante heterogêneo. A ZBV por essas propriedades, causa uma forte atenuação na propagação das ondas sísmicas por ser um meio bastante dispersivo e heterogêneo, aliada às variações topográficas da superfície terrestre, no conjunto acabam produzindo deslocamentos nos tempos de chegada das reflexões mais profundas, que podem deteriorar a qualidade das seções sísmicas, caso não sejam corrigidos, a ponto de comprometer um investimento feito por exemplo além de dificultar por consequência a interpretação dos resultados e/ou induzir a interpretações errôneas das camadas em subsuperfície.

1.2 Efeitos da ZBV e Topografia nos Tempos das Reflexões Sísmicas e Correção Estática

Os deslocamentos nos tempos de chegada das reflexões sísmicas causados pelas variações tanto da topografia quanto da ZBV devem ser corrigidos corretamente e por isso precisam ser determinados com precisão para que isto ocorra.

É sábio que a superfície terrestre apresenta variações de topografia/elevação para pontos distintos e como a Zona de Baixa Velocidade pode ser bastante heterogênea tanto em termos de espessura quanto em termos de velocidade de propagação das ondas elásticas, os tempos de chegada das reflexões não serão os mesmos para diferentes posições de fonte e receptores. Para um leigo ou para um estudante ou profissional menos habituado com o processamento de dados sísmicos pode se fazer a seguinte pergunta: "Quando e como vou saber quando aplicar as correções estáticas de campo e residual nos dados sísmicos?" Bom, para o primeiro questionamento como já foi dito as correções estáticas devem ser aplicadas quando há variações tanto da topografia quanto da espessura da ZBV ou os dois casos. O que significa que simplesmente a presença da Zona de baixa Velocidade não implica necessariamente o uso das correções estáticas, outra coisa a saber é que se a variação topográfica for muito suave a longo dos offsets os erros estáticos poderão ser muito pequenos ou até desprezíveis de maneira que a correção não será aplicada. Já a segunda pergunta que é como saber que a estática deverá ser aplicada pode ser facilmente respondida com a análise dos sismogramas de tiro, a partir das análises das primeiras quebras, e também das reflexões ou seja, se as primeiras quebras e/ou reflexões estiverem bastante ou pouco distorcidas (não alinhadas e/ou não lineares) significa que seus tempos foram distorcidos pelos efeitos da topografia e/ou ZBV. Para um estudante mais desavisado também é comum questionamentos como: Porque a estática não é aplicada aos dados sísmicos marinhos? Bom, para estes questionamento é bom lembrar inicialmente que no caso de dados marinhos a crosta é oceânica e não continental, sendo a primeira citada mais densa, em segundo lugar há uma espessa camada de água sobre o assoalho oceânico quando em grandes profundidades, o que nos arremete

automaticamente a não existência de uma zona de baixa velocidade como no caso dos dados sísmicos terrestres, nos dados sísmicos marinhos a velocidade sísmica menor já é da ordem de 1500 m/s aproximadamente, dependendo das condições de temperatura e salinidades em cada região, o que já é automaticamente no limiar para ser considerado como uma zona de baixa velocidade. Outra coisa que deve ser pensada é a questão da topografia que não varia no caso dos dados marinhos, pois os geofones ficam ao nível do mar na superfície, enquanto que as fontes a cerca de 6 a 9 metros de profundidade aproximadamente, logo já dá pra se ter idéia de porque as correções estáticas só são geralmente aplicadas a dados terrestres, mas na verdade também são aplicadas a dados marinhos para corrigir efeitos como os provocados pelas marés por exemplo. Com a finalidade de deixar mais claro o que ocasiona ao traço sísmico a variação da topografia e da ZBV é mostrado na figura seguir uma explanação.

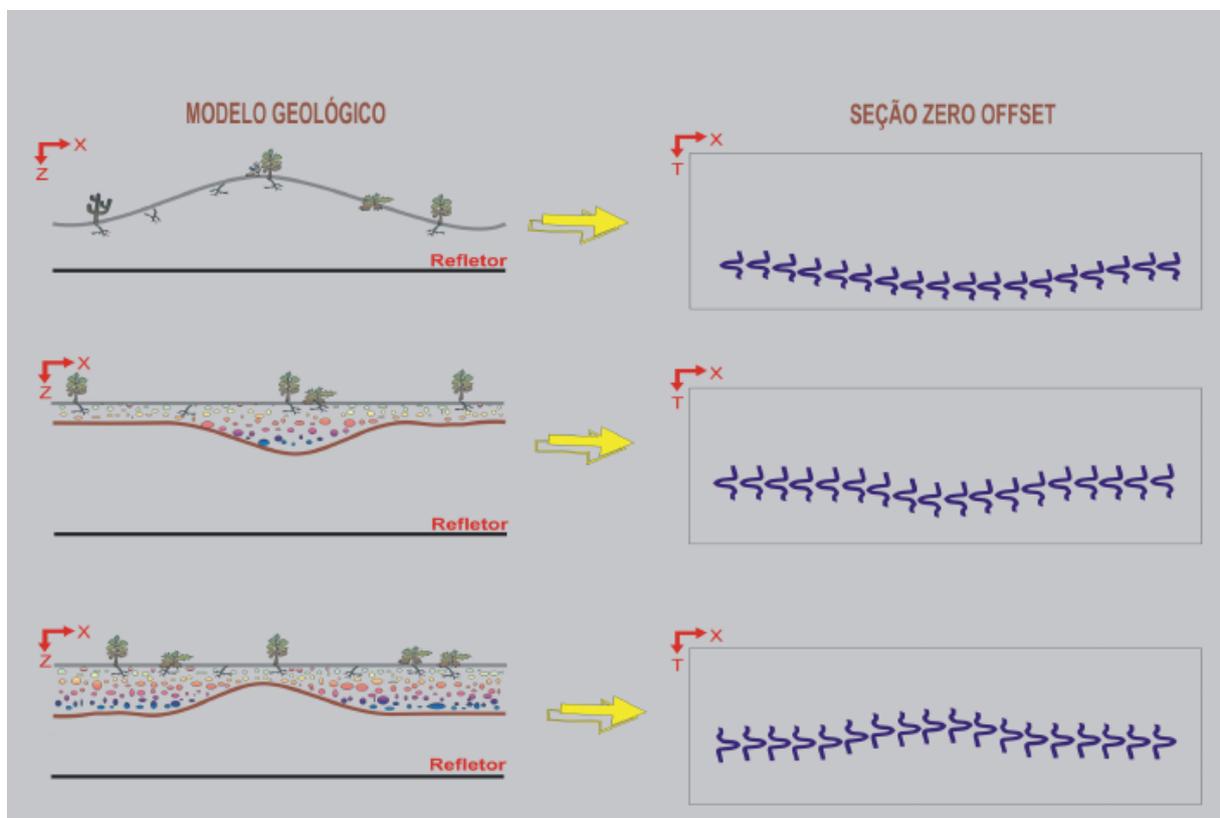


Figura 1.2: Efeitos da topografia e da ZBV em um refletor horizontal. Extraído de Correções Estáticas (AMORIM e SANTOS, 2007).

1.3 Correções Estáticas e ZBV

A ZBV pode apresentar heterogeneidades laterais de pequena e grande extensão. Quando as heterogeneidades laterais são pequenas comparadas ao tamanho do lanço utilizado durante a aquisição, ou seja, de pequena extensão, os erros produzidos são denominados de componentes de curto período e causam diminuição da qualidade das reflexões e dificultam

a determinação das velocidades de empilhamento. Já aquelas maiores que o comprimento do lanço, ou seja, as componentes de longo período causam geralmente distorções na interpretação estrutural em subsuperfície, podendo tanto mascarar estruturas verdadeiras quanto “criar” estruturas falsas. Assim, os métodos de definição das correções estáticas para serem eficazes precisam ser capazes de representar tanto as anomalias de curto período quanto as anomalias de longo período.

Cada um dos traços sísmicos apresentam um erro estático relacionado a fonte e outro relacionado ao receptor. Para isso são necessárias informações como a velocidade da ZBV, espessura, bem como da elevação em cada ponto de tiro e receptores, além da velocidade da rocha subjacente logo após a zona de baixa velocidade, ou subzbv. Somente com esses dados é possível calcular as correções estáticas para um datum qualquer com certa precisão.

Os métodos para a determinação das correções estáticas tem evoluído desde a época em que poderiam ser obtidos através de cargas colocadas abaixo ou na base da ZBV e os receptores na superfície permitiam registrar o tempo "up-hole". Dentre os métodos geofísicos mais utilizados pela indústria para a obtenção das correções estáticas: estão os levantamentos poço acima (up-hole), os levantamentos de refração rasa que são chamados de métodos especiais e também as primeiras quebras dos sismogramas. O levantamentos especiais de refração rasa e/ou de "up-hole" foram durante muito tempo os métodos utilizados para a determinação das correções estáticas. Os levantamentos de poço acima é o mais preciso de todos, mas possui uma grande desvantagem de ser inviável economicamente é um método muito caro porque precisa se fazer furos de sondagem em cada ponto de tiro, já os métodos de refração rasa apesar de ser muito preciso também assim como os levantamentos de “up-hole”, possuem limitações onde a ZBV é muito espessa devido as limitações fonte-receptor, além de exigir uma equipe extra nas aquisições e diversos experimentos aproximando ao custo de uma aquisição sísmica comum.

Porém, o uso de fontes superficiais com longos arranjos de fontes e receptores tornaram a determinação das correções estáticas de maneiras menos direta, não obstante o desenvolvimento de trabalhos de alta resolução tem exigido correções cada vez mais precisas Devido a isso e os custos adicionais de aquisição, aliados a distorções destes levantamentos, levaram ao desenvolvimento de técnicas do cálculo das correções estáticas baseadas ou a partir do próprios sismogramas de reflexão. Dos métodos geofísicos utilizados pela indústria para a obtenção das correções estáticas, o mais preciso e mais viável economicamente é a definição da correção estática a partir das primeiras quebras dos sismogramas de reflexão, pois as primeiras quebras correspondem as ondas diretas e as refrações críticas, ou seja, trazem informações sobre a velocidade da ZBV nos afastamentos offsets mais curtos e informações sobre a velocidade da subZBV para os mais longos, a depender da distância fonte receptor é claro, que são os parâmetros necessários para o cálculo das espessuras das espessura em, subsuperfície. Fundamentalmente, com o uso das primeiras quebras dos sismogramas de

reflexão a quantidade de curvas de afastamento é muito grande, aumentando assim portanto a redundância de informações sobre a ZBV e esta redundância pode ser aproveitada por métodos de inversão por mínimos quadrados por exemplo.

1.4 Fatores que alteram a topografia e a ZBV

A princípio não é pensado que ao longo do tempo atividades humanas ou efeitos naturais podem alterar tanto a topografia como a ZBV de forma que quando forem feitos outros levantamentos em épocas diferentes ou em anos posteriores para a mesma região essas alterações podem provocar efeitos indesejáveis diferentes e muito vezes não esperados. Alguns parâmetros associados com a superfície e com a região da ZBV podem mudar com as estações dos receptores ou com o tempo. Resultado de fatores como mudanças de temperatura, precipitação, vento, erosão recente e deposição, terremotos, atividades vulcânicas e ainda atividades humanas (Cox, 1999). Logo essas ter a prévia dessas informações é importante para se manter a qualidade dos dados de aquisições sísmicas futuras por exemplo.

1.5 Determinações dos datuns e as correções estáticas

As definições dos *datuns* para a correção estática é muito importante. O *datum* flutuante é estimado como sendo um nível de referência que varia suavemente ao longo das linhas sísmicas e o objetivo de ter os dados no *datum* flutuante é a minimização dos erros estáticos melhorando processos como a análise de velocidade e a correção de NMO. O datum final é normalmente definido com base em uma média das correções estáticas totais dos traços sísmicos que compõem o agrupamento CMP. Frequentemente é comum no processamento sísmico a mudança dos dados para os datuns para se realizar os processos e após isto estes voltam para o referido datum a ser aplicado nos processos posteriores. A figura a seguir da uma noção maior da importância da definição dos datuns.

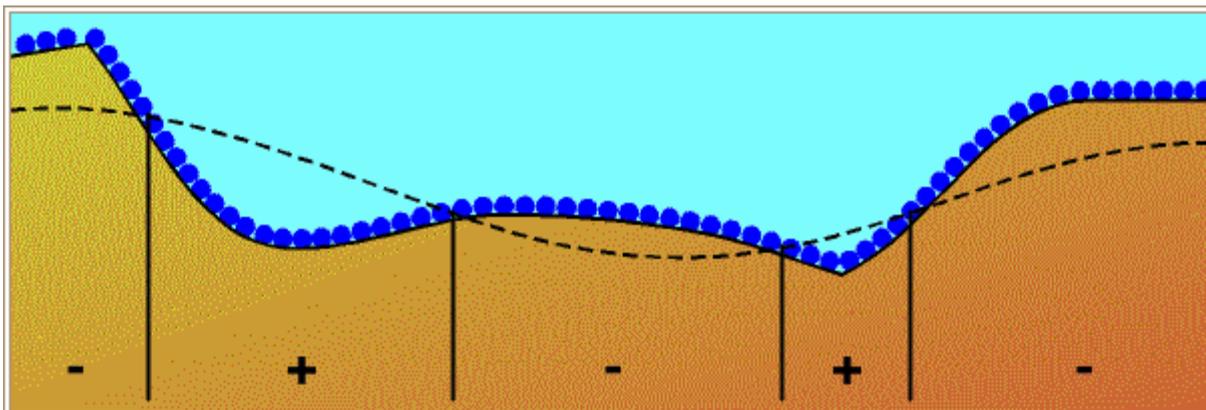


Figura 1.3: Podemos ver o datum flutuante em destaque como linha tracejada que pode ser maior ou menor que as posições da fonte e dos receptores e por isso pode ser positivo (somar um tempo por estar acima da linha dos receptores) e negativo (subtrair os tempos por estar abaixo da linha dos receptores). Extraído do site inter-geo.org

Para o caso do presente trabalho foi adotado o *datum* final para a Bacia do Recôncavo como 0 m (nível do mar).

Na figura a seguir mostra um gráfico da topografia do terreno, do *datum* flutuante e do *datum* final da linha sísmica real utilizada neste trabalho.

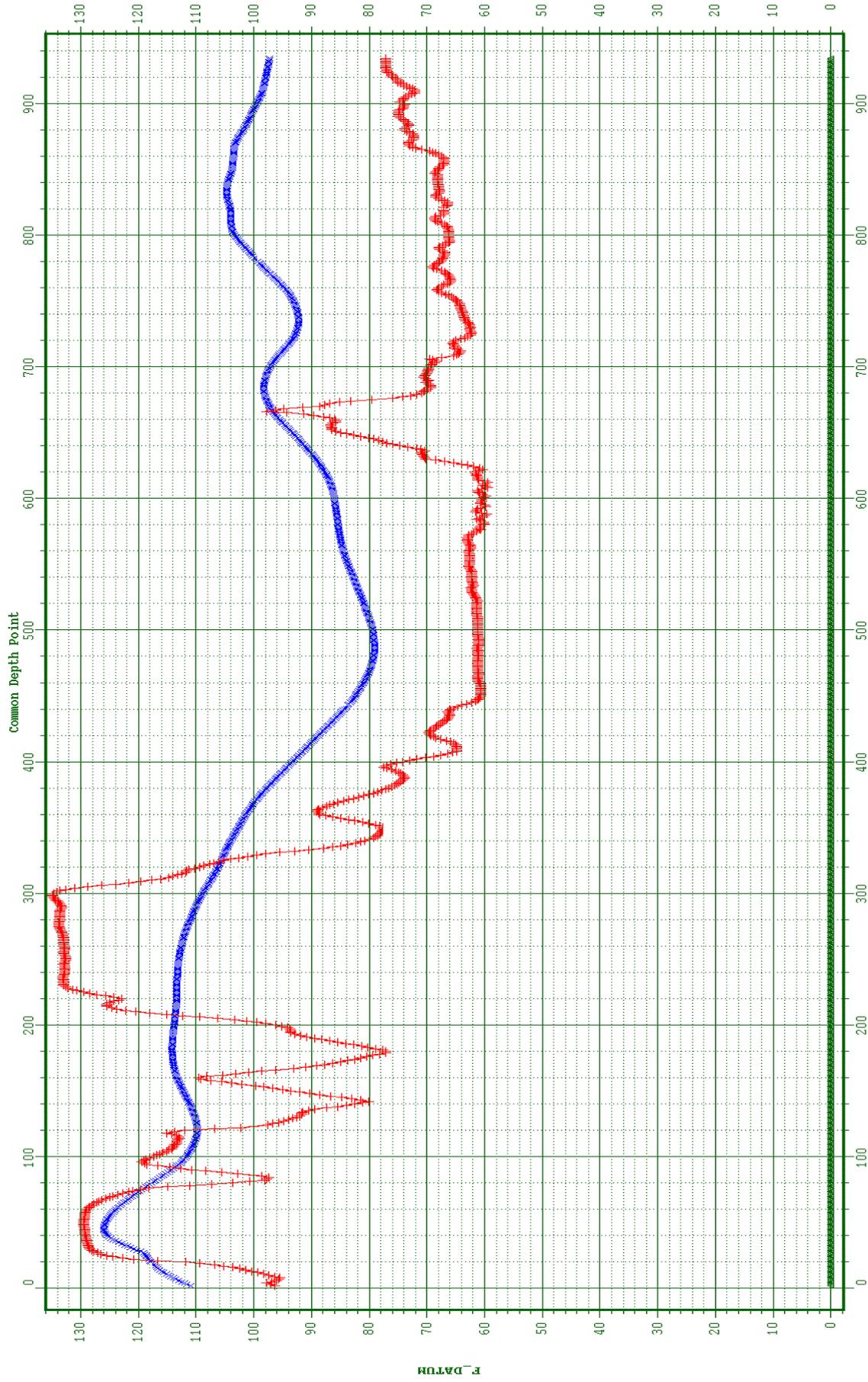


Figura 1.4: Topografia/elevação da linha sísmica (em vermelho), *datum* flutuante (em azul) e *datum* final (em verde).

CAPÍTULO 2

Etapas do Fluxo de Processamento Sísmico Terrestre

2.1 Aquisição de dados

Segundo informações extraídas do relatório do observador (RO), a aquisição do dado foi feita pela empresa PETROBRAS S.A. no ano de 1994 onde foi empregada fonte explosiva do tipo bananas de hidrogel que fornecem grande energia, com peso de cerca de 2,5 a 5 kg e enterradas entre 1 a 3 m de profundidade. O dispositivo utilizado na aquisição foi um lança bipartido (*split-spread*) assimétrico com distribuição de afastamentos 2025-50-0-50-4025 metros conforme a figura a seguir.

LANÇO (m)	2025		50			50		4025	
ESTAÇÃO	1	2	119	120	121	122	123	240	241
Nº CANAL	1	2	119	120		121	122	239	240
ARRANJO									

Figura 2.1: Parâmetros de aquisição como lança, estações, canais e disposição do arranjo

Foram utilizados 240 receptores por tiro para a aquisição e feitos 326 tiros com razão de amostragem de 2 ms correspondendo a um comprimento total para a linha de 13.150 km. O tempo de registro foi de 5 s, conforme a tabela 1. A Figura 2 mostra a localização geográfica da linha sísmica 26-RL-1993 na Bacia do Recôncavo. Maiores informações podem ser consultadas na tabela abaixo:

Descrição	Parâmetro
Lanço	Bipartido (split-spread) Assimétrico
Distribuição de Afastamentos	2025-50-0-50-4025 (m)
Instrumento de Registro	SN-368
Intervalo entre Receptores	25 m
Intervalo entre Tiros	25 m
Número de Tiros	407
Número de Canais	240
Razão de Amostragem	2 ms
Registros	326
Grau de Cobertura	120 ou 12000%
Extensão Total do Registro	13.150 km
Tempo de Registro	5 s

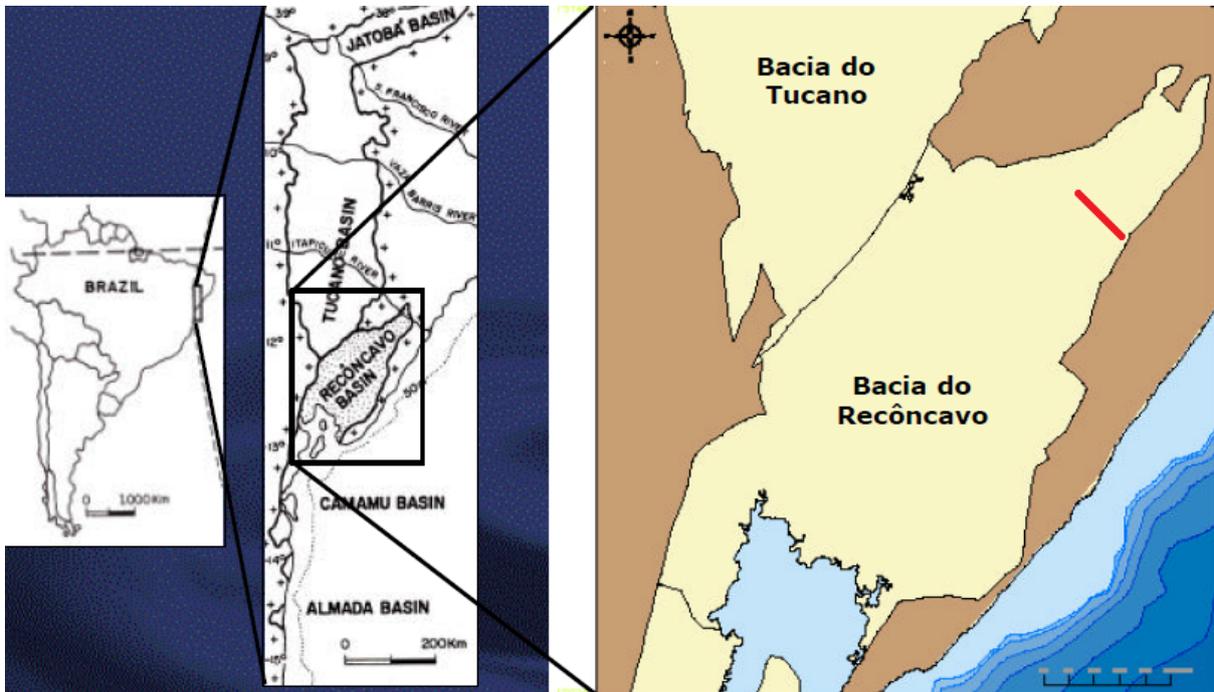


Figura 2.2: Localização geográfica da linha sísmica 26-RL-1993 na Bacia do Recôncavo (destacada em vermelho). Modificada do site Brasil Rounds-ANP.

2.2 Processamento dos Dados

Aqui serão discutidas as principais etapas do processamento de dados sísmicos terrestres, exceto a etapa da estática que aplicada a linha processada será discutida no capítulo 4. O fluxo seguido para o processamento pode ser visto a seguir.

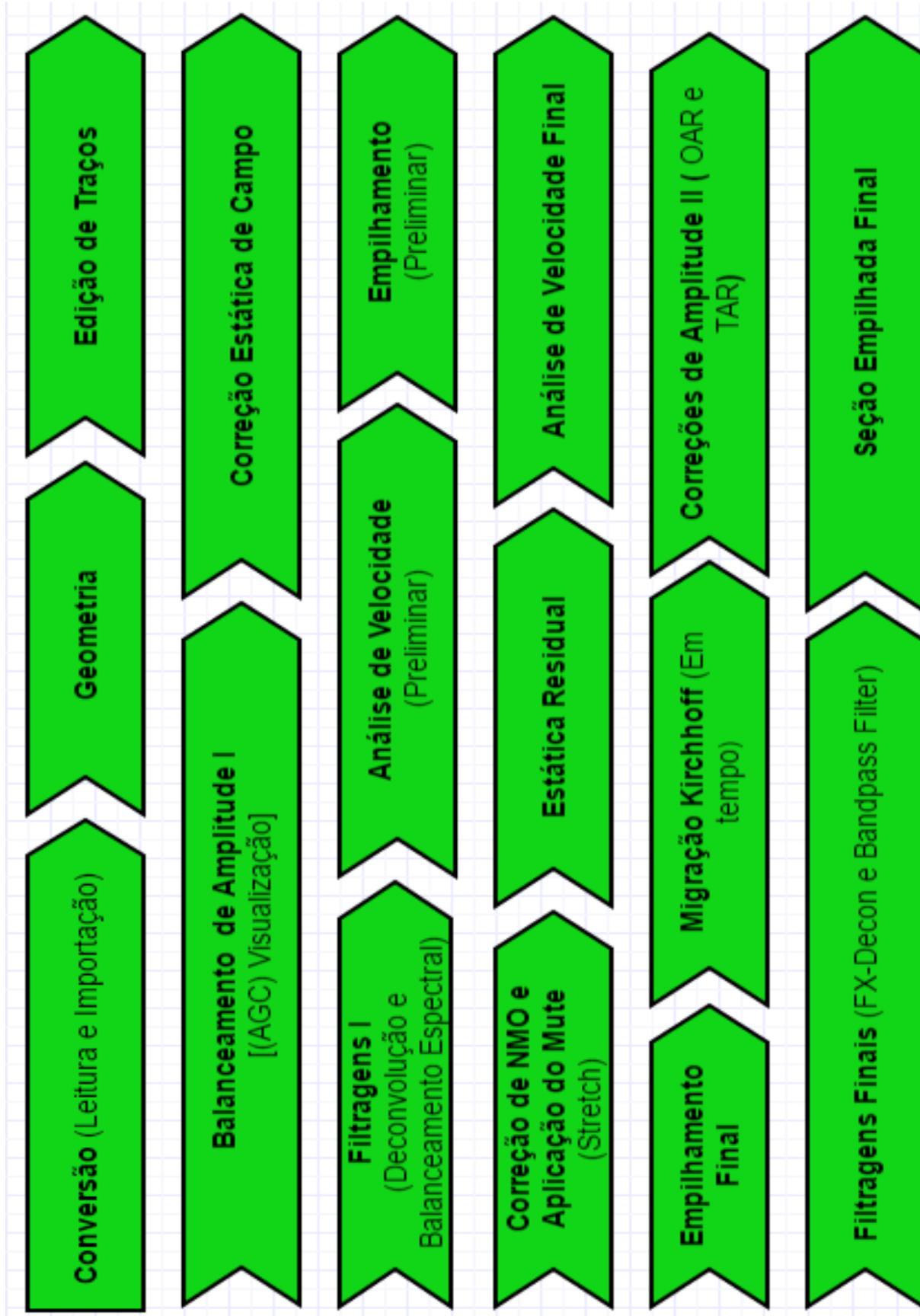


Figura 2.3: Fluxo utilizado para o processamento do dado real .

2.3 Pré-Processamento

2.3.1 Geometria

Feita a conversão para o formato do *software* onde o dado será processado, segue então a etapa da criação da geometria, onde informações contidas no relatório do observador (RO) e nos arquivos de coordenadas (UKOOA) permitem o georreferenciamento do dado. É nesta etapa que são feitas as amarrações das informações (coordenadas) da (s) fonte (s) e de seus receptores, do espaçamento entre eles, das elevações dos mesmos, do arranjo utilizado bem como o número de tiros dados no levantamento. Essa fase do processamento é primordial e exige bastante atenção do usuário, pois qualquer erro cometido no preenchimento da geometria será replicado em processos posteriores. A geometria nos possibilita organizar e manipular dados em outros domínios tais como: domínio do receptor, do tiro, do CMP, do *offset* comum; que permitem a execução do processamento de maneira satisfatória.

2.3.2 Edição

A fase de edição é um controle de qualidade feito no domínio do tiro para eliminação de traços que possam vir a comprometer os resultados como por exemplo, traços muito ruidosos e com uma baixa razão sinal ruído ou traços com amplitude nula causados por ruídos externos ou problemas e mal funcionamento dos receptores. A eliminação do traço deve ser evitada nos casos em que este contiver informações de amplitudes que podem representar reflexões, então cabe ao usuário julgar quando eliminar um traço ou não a depender de suas condições. É possível substituir traços deletados através de uma interpolação de traços vizinhos dependendo do pacote ou do *software* que se esteja utilizando no processamento. Nesta etapa é feito o silenciamento ou *mute* de traços acima das primeiras quebras; refração quando em dado terrestre ou reflexão do fundo do mar quando em dado marinho. É recorrente o uso de silenciamentos ou *mutes* também em etapas do processamento avançado como na correção de NMO que será citada posteriormente.

2.3.3 Filtragens I

As formas de onda de interesse na geofísica são uma combinação de sinal e ruído. O sinal é a parte de onda relacionada às estruturas geológicas e o ruído todos os outros componentes presentes no registro que não são de interesse. Os ruídos ainda podem ser classificados como aleatórios e coerentes; os aleatórios são geralmente associados a eventos relacionados com as operações de aquisição geofísica como ruídos provocados pelo tráfego de veículos próxima a área do levantamento e os coerentes estão associados própria fonte sísmica como as ondas superficiais geradas por ela.

Dentre desse aspecto quanto mais atenuarmos os ruídos maior será a nossa razão sinal/ruído e, portanto, melhor será a imagem final da subsuperfície. Os dois tipos principais de filtros utilizados são os filtros de frequência e os filtros inversos. No presente trabalho foi utilizado no pré-processamento os filtros inversos como deconvolução *spike* e balanceamento espectral, já no processamento avançado foi aplicado os filtros de frequência passa banda ou passa faixa (8-12-50-70) e um filtro para atenuação de ruídos aleatórios (Fx Decon).

Deconvolução

A deconvolução é um importante passo no processamento de dados sísmicos e frequentemente aplicada para aumentar a resolução temporal ou vertical dos traços sísmicos. O que a deconvolução faz é uma compressão no pulso; transforma um pulso básico em um impulso, desfazendo assim a ação do pulso sobre o traço sísmico e recuperando dessa forma a resposta impulsiva da Terra; removendo efeitos de reverberação no dado.

Balanceamento Espectral

Já a técnica do balanceamento espectral ou branqueamento espectral segundo Yilmaz (1987) é muito boa para atenuação de ruídos de alta energia, logo podemos prever a sua eficácia para um ruído ambiental comum em linhas terrestres como o *ground roll* que possui alta amplitude e baixa frequência. Apesar de não ser um método de deconvolução o balanceamento espectral pode ser considerado como uma aproximação de uma deconvolução de fase zero pois a sua aplicação altera apenas o espectro de amplitude e não ocasiona modificações significativas na fase do sinal (Silva e Porsani, 2006); é uma técnica monocal que equaliza a amplitude de todos os componentes da fase do sinal dentro da banda de frequência registrada. A Figura 6 abaixo ilustra um sismograma antes da aplicação das técnicas de deconvolução e balanceamento espectral em (I) após a aplicação das mesmas em (II).

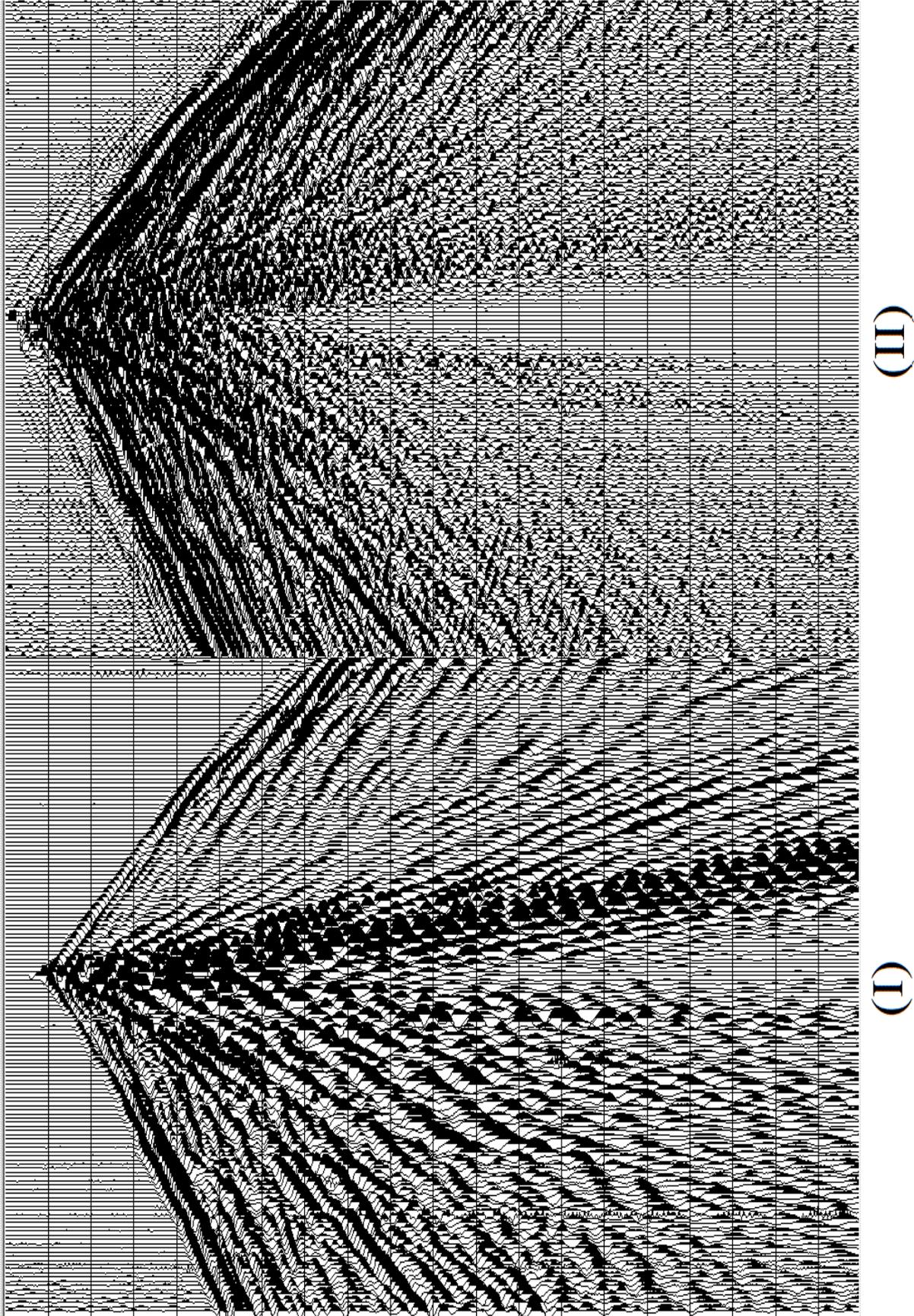


Figura 2.4: Sismograma antes da aplicação dos processos de deconvolução e balanceamento espectral (I) e após a aplicação (II).

2.3.4 Correções de Amplitude I

As ondas sísmicas ao se propagarem no interior da terra sofrem efeitos que reduzem sua energia e atenuam o sinal (decaimento da amplitude) na qual podemos citar por exemplo: o efeito da absorção, da divergência esférica ou espalhamento geométrico e das perdas de energia por transmissão entre outros efeitos (Abreu, 2005). Devido a isso faz-se necessário a importância de uma etapa conhecida como correção ou balanceamento de amplitudes. Seu objetivo é compensar, dar um ganho ou recuperar amplitudes do sinal e quando necessário atenuar amplitudes que podem vir a ser anômalas. Isto é feito para visualizar melhor as reflexões mais profundas ou até as rasas no caso de serem contaminadas por amplitudes anômalas.

No presente trabalho foi aplicado uma atenuação de *spikes* no pré-processamento e no processamento avançado um levantamento e recuperação da amplitude pelo efeito da divergência esférica, através de um módulo que será falado adiante devido a este depender das velocidades nas camadas; e quando necessário ganhos de amplitude nas seções para melhorar a visualização na aplicação de processos e de seus resultados. O método da Atenuação de *spikes* no pré-processamento foi utilizado para uma atenuação de amplitudes anômalas onde amplitudes que estejam acima da maior amplitude absoluta podem ser zeradas ou não computadas na estatística. É um balanceamento de amplitude bom para se atenuar ruídos não consistentes em superfície e as vezes devido ao seu carácter de aplicação anteriormente citado, funciona também para ruídos que tenham grandes amplitudes como é o caso do *ground roll*.

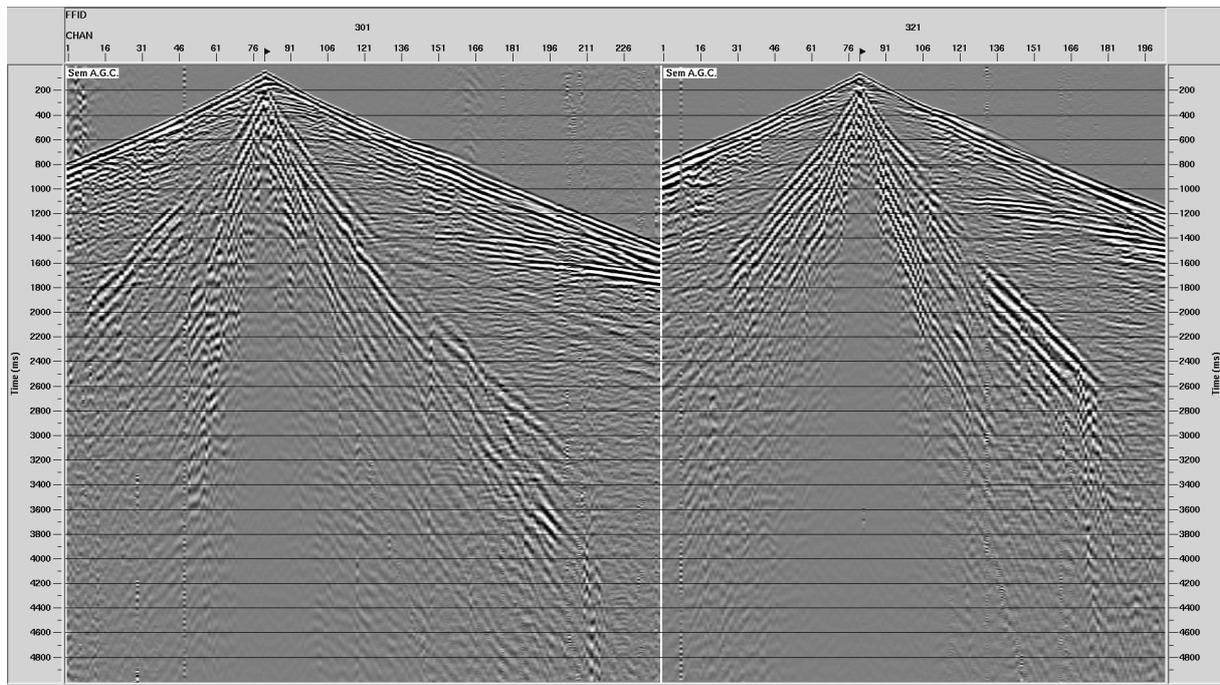


Figura 2.5: Sismogramas de tiro 301 e 321 sem a aplicação do AGC

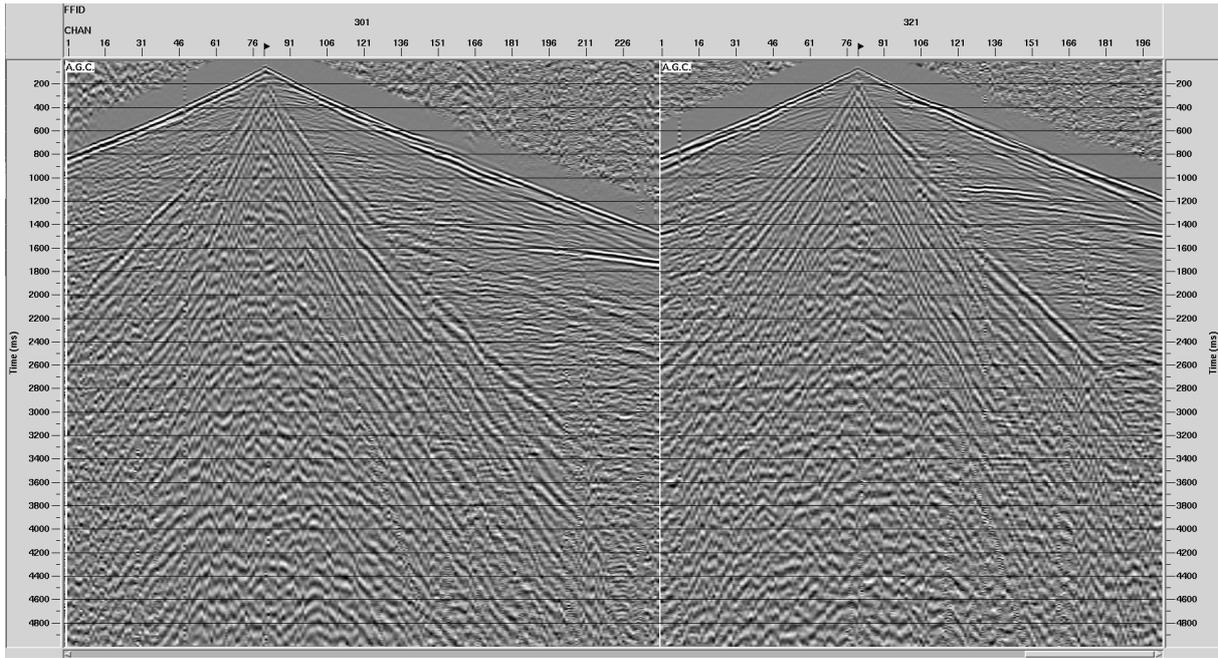


Figura 2.6: Sismogramas de tiro 301 e 321 com a aplicação do AGC

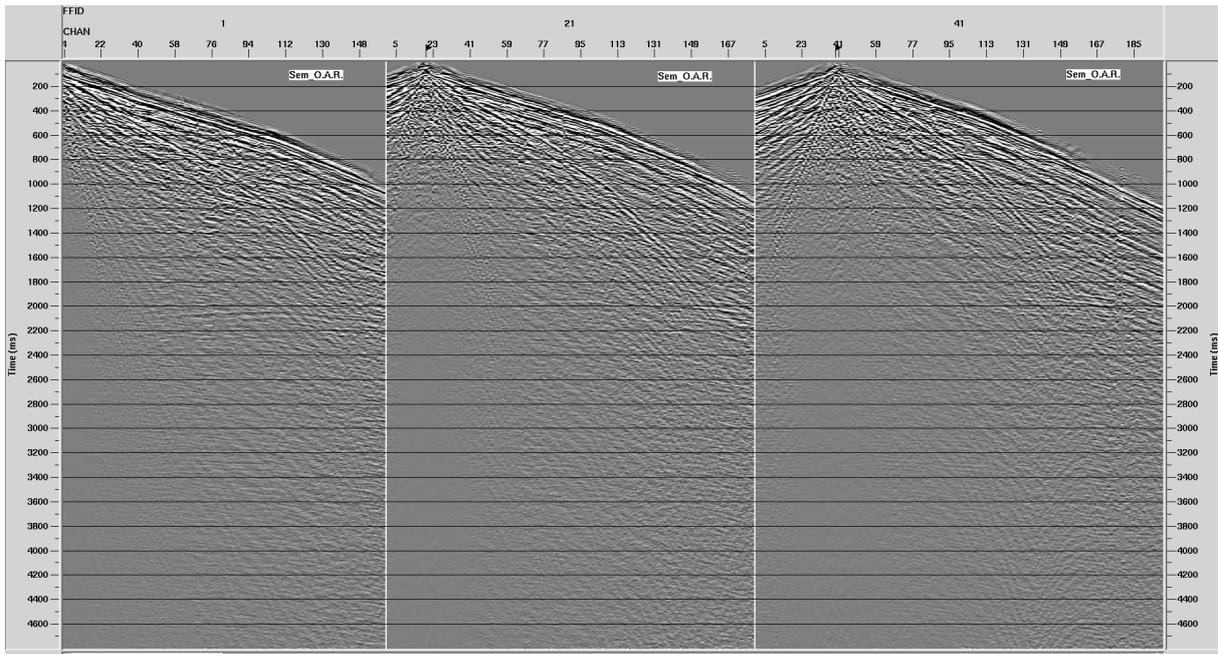


Figura 2.7: Sismogramas de tiro 1, 21 e 41 sem a aplicação do OAR.

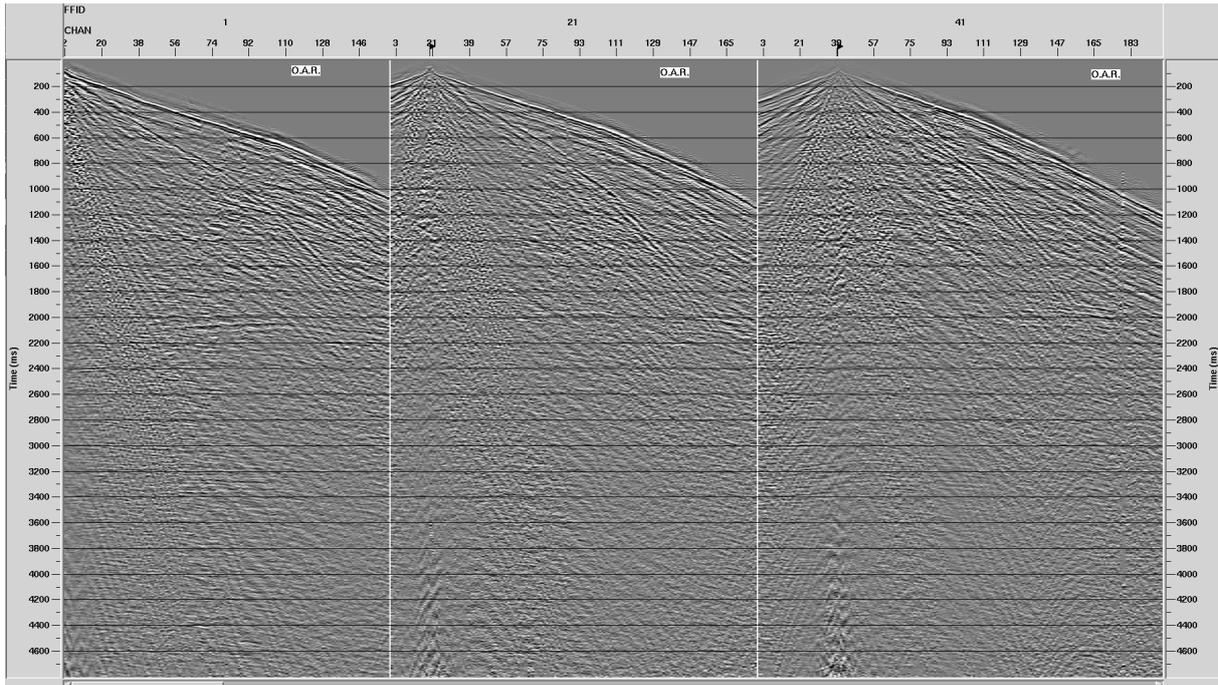


Figura 2.8: Sismogramas de tiro 1, 21 e 41 com a aplicação do O.A.R.

2.4 Processamento Avançado

2.4.1 Análise de velocidade

A análise de velocidade é uma das etapas mais importantes do processamento sísmico, pois essa fase está diretamente ligada ao sucesso do processamento visto que é nela que determinamos as velocidades das camadas em subsuperfície e o grau de precisão alcançado nela determina a qualidade da seção sísmica empilhada e portanto também os produtos posteriores como a seção migrada por exemplo. Nesta fase é feita uma definição das funções-velocidade que melhor compensam as diferenças de sobretempo normal (NMO), das reflexões, ou seja, definir as velocidades que melhor horizontalizam cada reflexão.

Para a determinação das velocidades são marcados os pontos que possuem a maior coerência possível, ou *semblance*, (região de maior energia), procurando também um *trend* de velocidades, (tendência de velocidades, orientação geral). Porém ao se marcar ou definir os pontos pelo *trend* de velocidades, deve-se observar se realmente os refletores foram horizontalizados, pois isso pode variar dependendo de certos ambientes e condições. Na Figura 7 (I) é mostrado um *semblance*, com pontos interpretados segundo a coerência de regiões com maior energia, e em (II) é mostrada a aplicação da correção de NMO, assunto que será discutido a seguir. A análise de velocidade é uma etapa que deve ser executada mais de uma vez para um refinamento melhor das informações e é comum devido a isso evidenciá-la como análise de

velocidade preliminar e análise de velocidade residual, onde ambas foram feitas no presente trabalho.

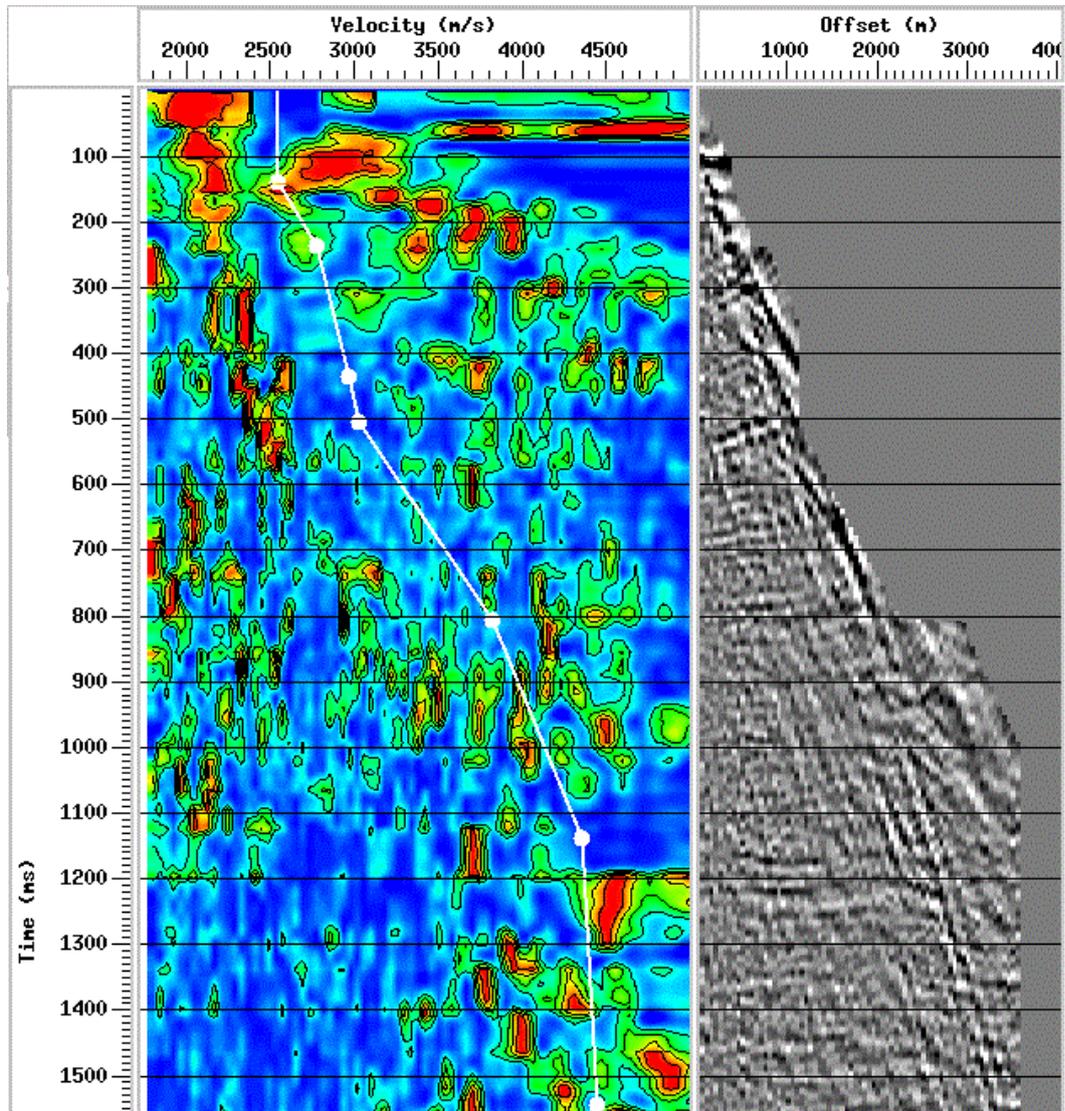


Figura 2.9: Análise de velocidade em um CDP qualquer em (I). Em (II) vemos a aplicação da correção de NMO, já com aplicação de mute.

A partir de uma interpolação linear dos resultados das análises de velocidade dos CDPs avaliados, podemos obter o campo de velocidade RMS, mostrado na figura 8.

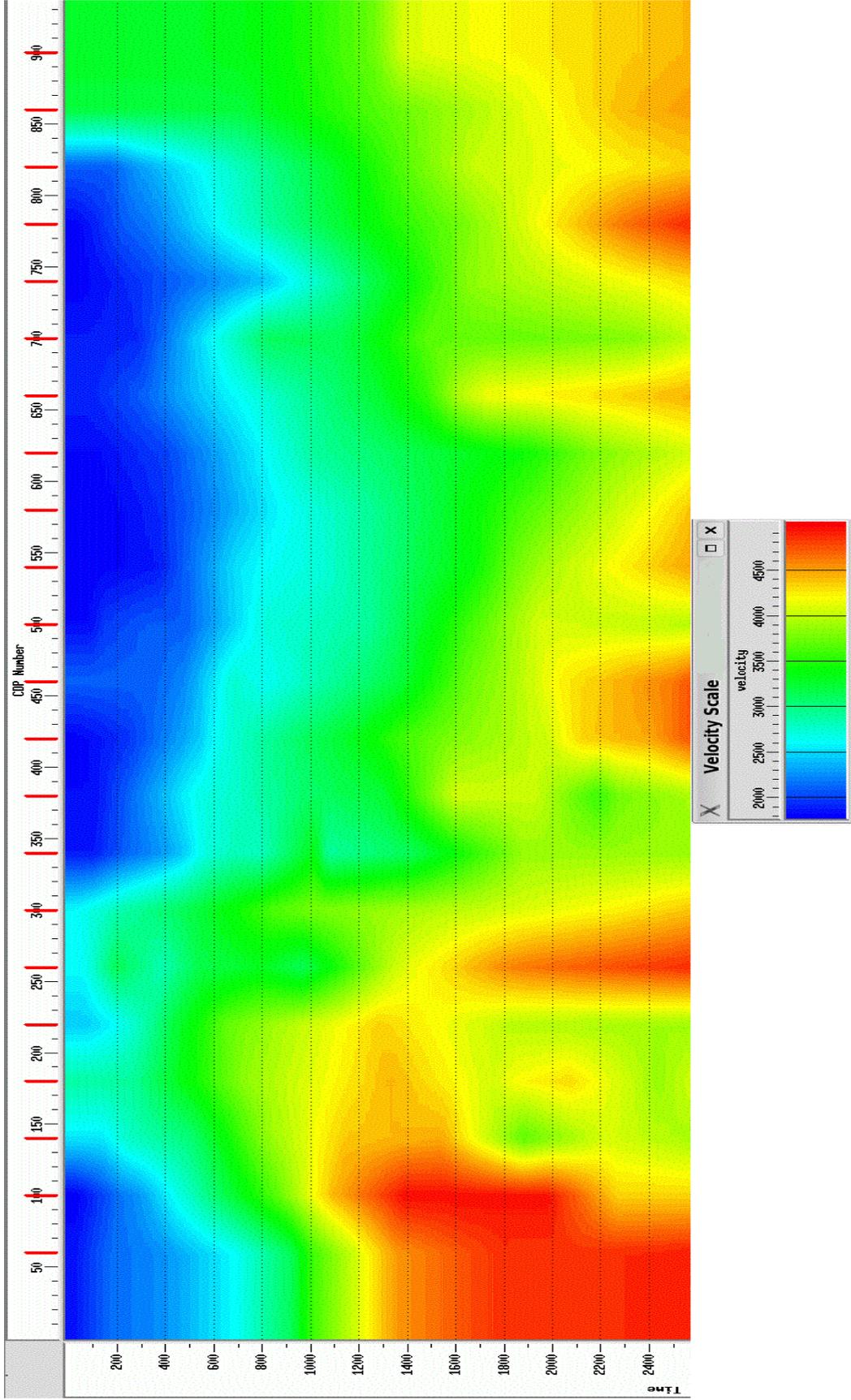


Figura 2.10: Campo de velocidade gerado através da interpolação dos resultados obtidos na análise de velocidade.

Os traços vermelhos na parte superior da figura 8 se devem aos painéis que foram analisados para a geração do campo RMS durante análise de velocidade. Lembrando que como o campo é RMS ou seja as velocidades são médias quadráticas e não intervalares a associação direta a litologia pode ser feita, mas obviamente não corresponderá exatamente aos valores em cada tempo e ponto exatamente por este campo ser de velocidades RMS e não intervalares.

2.4.2 Correção de NMO

A correção de NMO é uma correção dinâmica por assim dizer, devido a ser uma correção que varia em função do tempo de reflexão. É feita para que um mesmo evento esteja em fase para que futuramente se possa empilhar os traços corretamente. Os receptores mais distantes da fonte terão um tempo maior, ou seja, *offsets* maiores tem um tempo maior de propagação da onda sísmica, então o que a correção de NMO faz é corrigir esses eventos para um mesmo tempo, como se fonte e receptor estivessem no mesmo ponto, ou seja, como se o percurso do raio tivesse incidência normal, ou caso de afastamento nulo (zero *offset*). Feita então essa correção podemos empilhar estes dados, após definir um *mute* ou silenciamento. Pois na correção de NMO, acontece um efeito chamado de estiramento do traço (*stretch*), ou seja, o traço é esticado devido a ser retirado um tempo o que ocasiona sujeira e um rebaixamento da frequência e quanto maior for o *offset* maior será esse efeito. Então um *mute* ou silenciamento, que pode ser automático ou manual deve ser desenhado e executado para minimizar este efeito. Na Figura 7 (II) acima ao lado do espectro de velocidade podemos ver a aplicação da correção de NMO e um *mute* já executado. No dado processado neste trabalho foi realizada um *mute* automático e em seguida um manual por cima deste, para se ter uma maior eliminação do efeito de estiramento na seção.

2.4.3 Empilhamento

O empilhamento ou *stack* é a soma dos traços de uma família CMP após a correção de NMO. Onde todos os traços de cada família CMP são somados resultando em um único traço. Ao final desta fase de processamento já teremos uma primeira imagem da geologia em subsuperfície. Sua qualidade dependerá de uma análise de velocidade corretamente executada. Ao final do empilhamento de traços formam a seção que chamamos de seção empilhada, os CMP's contínuos constituem essa seção sísmica, que é a representação do modelo geológico em subsuperfície. É um processo que melhora as condições de informações obtidas em cada traço devido a redundância de informações ressaltando e mantendo portanto o que é mais coerente e eliminando ou atenuando o que não for. É um processo que funciona como atenuador de ruídos aleatórios, devido ao último princípio citado, que por sua vez aumenta a razão sinal/ruído.

2.4.4 Migração

A migração é um importante e essencial processo que pode ser aplicado antes do empilhamento (*pré-stack*) e/ou após o empilhamento (*pós-stack*). A migração pode ser definida como um método de focalização da energia sísmica pois ela recoloca a energia espalhada na posição do ponto espalhador, normalmente chamado de difrator. É a etapa que corrige os efeitos de mergulho das camadas, movendo-as para suas posições verdadeiras, colapsando as difrações e aumentando assim a resolução espacial da seção. Pode ser também em tempo ou em profundidade e portanto pode ser feita em diferentes etapas do processamento. No presente trabalho foi feita a migração *Kirchhoff* *pré-stack* em tempo que pode ser vista na Figura 10.

2.4.5 Correções de Amplitude II

As correções de amplitude se fazem necessárias devido à perda de energia e a atenuação do sinal sísmico com o tempo de propagação no interior da terra, que acontece por vários fatores, onde citaremos dois destes processos. A Divergência esférica ou espalhamento geométrico, que é o decaimento da amplitude devido ao espalhamento da frente de onda e a Absorção que é o decaimento de densidade de energia da onda, onde ocorre dissipação, que é a conversão da energia elástica em calor. Essas correções feitas não foram como as anteriores (I) apenas para se visualizar os dados, após a aplicação das mesmas estas foram salvas. Os balanceamentos de amplitudes ou correções de amplitude feitos durante o processamento foram o OAR, (Offset Amplitude Recovery) e o TAR (True Amplitude Recovery) na seção empilhada, ambos corrigem os efeitos da divergência esférica e utilizam o campo de velocidades para o cálculo, na tradução literal dos termos OAR e TAR seriam: Recuperação da Amplitude com o Offset e Recuperação da Amplitude Verdadeira.

2.4.6 Filtragens II

O objetivo nos processos de filtragem é fazer uma limitação das bandas de frequência presentes no dado. São eliminados dos traços componentes de frequência muito altas ou muito baixas e assim contribuindo para uma melhora significativa na razão sinal/ruído. Filtragens, obviamente, serão aplicadas após a identificação do ruído a ser atenuado e podem ser aplicadas ou feitas tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência. Os filtros de frequência são geralmente empregados nos dados *pós stack*. Como exemplo temos o filtro passa faixa ou passa banda, que permite a passagem de frequências de certa faixa e rejeitam (atenuam) as frequências fora dessa faixa. Essa faixa é definida com a determinação dos slopes do filtro que são inclinações da curva de Frequência versus Amplitude. Eles definem o intervalo de atuação do filtro corta-baixa ou passa-baixa e o corta-alta ou passa-alta, onde

serão cortados os valores de frequência. Entre os slopes as frequências são preservadas e antes do corta baixa ou depois do corta alta elas são atenuadas no presente caso o filtro utilizado foi um do tipo 8-12-50-70 (Hz). Outro exemplo é o filtro Fx Decon, que é um filtro usado para atenuar ruídos aleatórios que são ruídos não coerentes, externos e não associados a fonte, no pós empilhamento, utilizando-se do princípio matemático da transformada de Fourier.

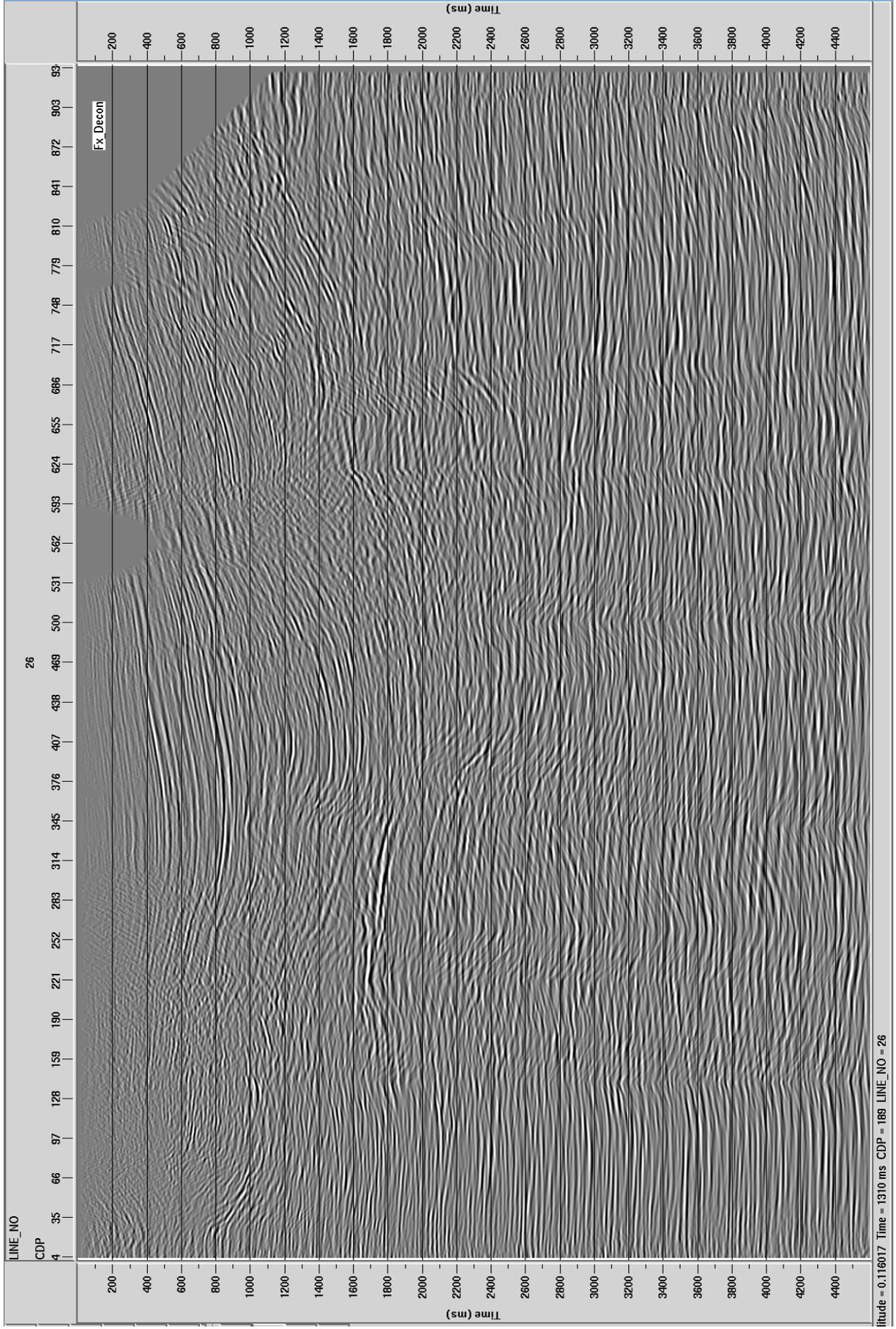


Figura 2.11: Seção final migrada com correções de amplitude e filtrações finais.

CAPÍTULO 3

Aplicação em Dados Sintéticos

Os modelos sintéticos foram criados no Software ProMAX/SeisSpace da Landmark-Halliburton, utilizando o módulo *Finite Difference Modeling*. Foi gerado um sismograma sintético preliminar que serviu de entrada para criação do sismograma sintético final. Nesse sismograma sintético preliminar foi escolhida a opção da Wavelet e definido parâmetros como offset mínimo e máximo, números de tiros e etc. Depois disso modelar e/ou criar/editar um campo de velocidade com os horizontes, estruturas e velocidades das camadas a escolha e por último gerar o seu sismograma sintético final pelo método das diferenças finitas. Em outras palavras foi necessário gerar um sismograma preliminar qualquer com a uma geometria já escolhida para a definição do campo de velocidades já que a entrada para o mesmo são os números de CDPs logo é preciso que a geometria já esteja definida para esta etapa. E então depois gerado o campo de velocidades para geração do dado sintético final. Maiores informações de como foi feita a modelagem podem ser consultadas ao final deste trabalho nos anexos um tutorial.

Foram criados 4 modelos, cada um com duas camadas e o embasamento, o modelo 1 tem topografia e base da ZBV planas, o modelo 2 tem topografia variando e base da ZBV plana, o modelo 3 tem topografia plana e base da ZBV variando e o modelo 4 tem topografia e base da ZBV variando. Todos os modelos possuem velocidade constante na primeira camada e também no embasamento, e um gradiente de velocidade na segunda camada com sensibilidade de 4 metros de profundidade do topo até a base do modelo. A topografia utilizada nos modelos 2 e 4 é a topografia real de uma linha sísmica da Bacia do Recôncavo e o gradiente na segunda camada é também a aproximação da resposta da sub-ZBV da Bacia do Recôncavo. Para criar este campo são necessários criar os horizontes que definirão as interfaces entre as camadas. Foram criados então três horizontes para os quatro modelos. Um horizonte a 30 metros de profundidade e plano, um segundo horizonte variando sua profundidade de 30 a 50 metros de profundidade que depois fora suavizado, com um comprimento de onda λ até a metade do horizonte e depois a um comprimento de onda 2λ e um terceiro horizonte para marcar a interface base da Sub-ZBV com o embasamento na profundidade de 900 metros, conforme serão mostrados em figuras a frente. Com relação ao processamento desses dados, foram feitas etapas como: a geometria, edição com mutes internos e externos para onda direta, efeitos de borda e para o próprio estiramento do traço,

correção estática de campo e quando preciso residual, organização em CMP, correção de NMO, análise de velocidade e empilhamento. A modelagem feita utilizou os princípios das diferenças finitas e levou em consideração como modelo acústico de velocidade e não elástico, de maneira que efeitos indesejáveis como o cone de Ground-roll provocadas pelos efeitos das ondas superficiais não fora gerado, como poderá ser notado nos sismogramas de tiros. Para os cálculos das correções estáticas de elevação foi usado como datum o nível do mar (0 m), que é geralmente o datum utilizado na indústria para dados sísmicos da Bacia do Recôncavo. Já para os cálculos da estática de intemperismo ou refração foi utilizado a velocidade de reposição de $V=2600$ m/s.

3.1 Modelagem Sísmica

Como já é de nosso conhecimento a modelagem sísmica envolve a produção de sismogramas teóricos (sintéticos), para sequências acamadadas com o objetivo de se investigar os efeitos da variação dos parâmetros do modelo sobre a forma dos sismogramas resultantes. Tanto seções sísmicas quanto sismogramas sintéticos podem ser comparados com dados observados, e os modelos criados podem então ser manipulados para simular dados observados. Das razões para se criar modelos sintéticos podemos citar por exemplo: projetar um levantamento sísmico, avaliar diferentes estruturas de processamento, testar a eficácia de diferentes técnicas de captura de imagem e analisar a sua aplicabilidade ou ainda criar seções pseudossísmicas a partir de dados de perfilagem.

Com a notável expansão na velocidade e na capacidade dos computadores digitais e sua ampla disponibilidade, um método cada vez mais importante de interpretação de refração é uma técnica de modelagem conhecida como traçado de raios (ray-tracing) (Cerveny et al., 1974). No método do traçado de raios, modelos estruturais hipotéticos são então construídos e os tempos de percurso de raios refratados (e refletidos) através desses modelos são calculados por softwares para comparação com os tempos de percursos observados. É particularmente útil no caso de estruturas complexas em subsuperfície e que de modo analítico são difíceis de tratar e é especialmente valioso no tratamento de cenários complexos, como gradientes de velocidades verticais e/ou horizontais dentro de camadas, camadas descontínuas ou ainda interfaces refratoras altamente irregulares ou com grande mergulho. Um exemplo de modelagem por traçado de raios pode ser conferido no lado direito da Figura 13 usando o Cshot que usa esse princípio para geração de modelos sintéticos.

Já o método de diferenças finitas tem como base aproximações das derivadas da série de Taylor por truncamento, e possui limitações em relação a estabilidade e dispersão e normalmente funciona para intervalos temporais pequenos. Assim como o método de traçado de raios, o método das diferenças finitas é particularmente muito bom para modelagem de geometria de estruturas complexas em subsuperfície, devido às grandes dificuldades encontradas em

obter soluções analíticas. O interesse nos modelos criados pelo método das diferenças finitas da equação da onda tem abordado questões em razão do grau de correlação entre a solução de diferenças finitas e a obtida pelos métodos clássicos quando comparado com a teoria dos raios. O problema da propagação da onda é resolvido teoricamente para um meio infinito, embora por causa da manipulação numérica computacional dos parâmetros do modelo físico, soluções por diferenças finitas podem ser obtidas somente para um número finito de pontos. E devido a isso é necessário utilizar um modelo finito, o que implica na introdução de fronteiras artificiais o que produz eventos espúrios como reflexões de borda. Como, o uso dessas fronteiras artificiais não pode ser desprezado na geração de sismogramas sintéticos por diferenças finitas, é necessário se fazer a procura de outras condições de fronteira adicionais que reduzam as reflexões nas bordas.

3.2 Dados Sísmicos Sintéticos

3.2.1 Modelo 1

O modelo 1 foi tomado como topografia plana e base da ZBV plana. A espessura da primeira camada ou seja da ZBV adotada foi de 30 m, com uma velocidade sísmica constante de 800 m/s. Já a segunda camada, interface Sub-ZBV com o embasamento possui 870 m de espessura e tem um gradiente de velocidade de $V=2600 + 0,6.z$, onde z é a profundidade, esse gradiente foi usado para se aproximar mais das condições reais da Bacia do Recôncavo. E por último o embasamento também com velocidade constante de 4500 m/s e com espessura de 100 m. Na figura a seguir podemos ver o campo de velocidade intervalar que foi usado para geração do dado sintético conforme informações citadas anteriormente.

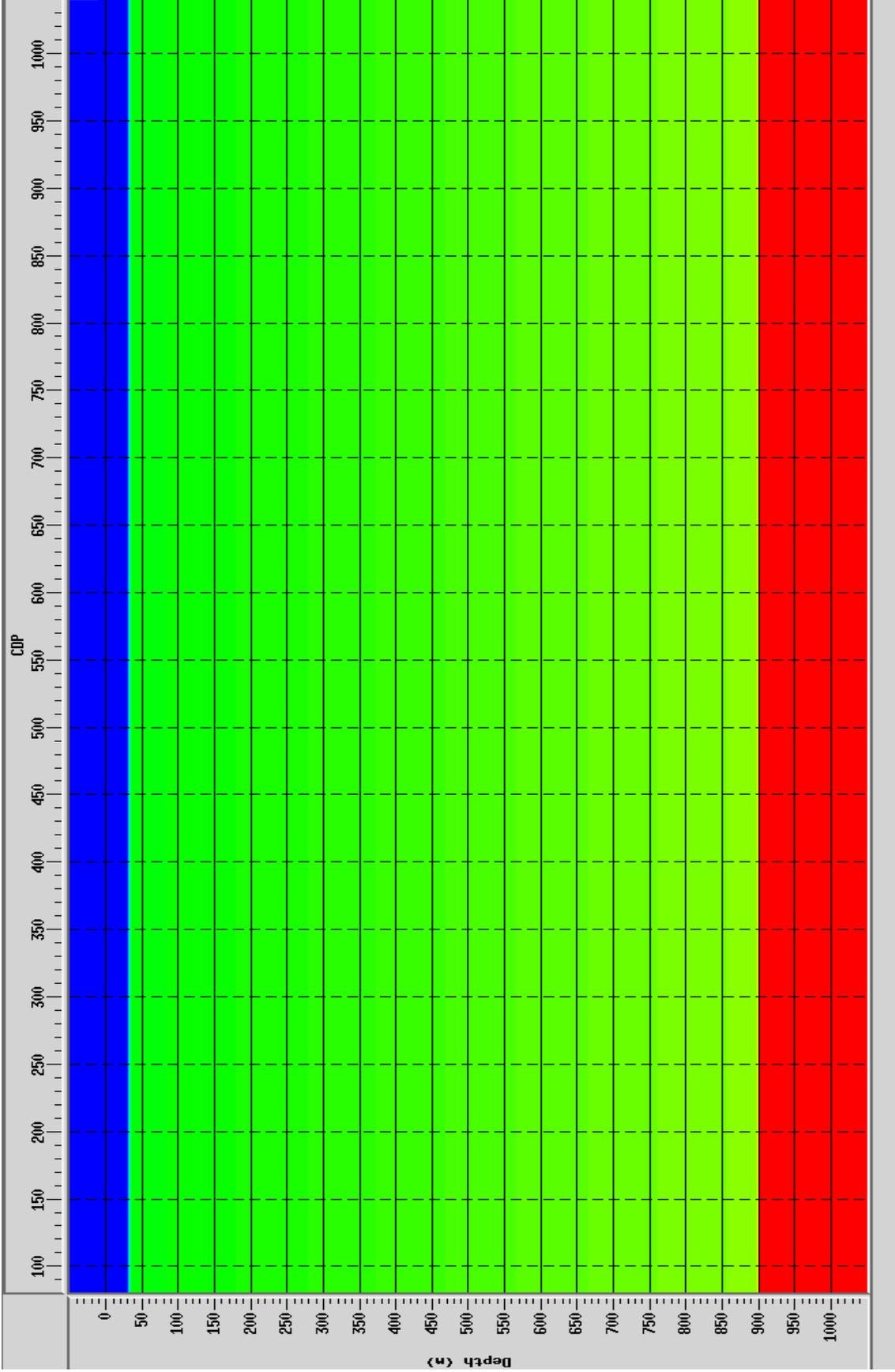


Figura 3.1: Campo de Velocidades Intervalar do modelo 1. Na primeira camada a ZBV, na verde a Sub-ZBV e em vermelho o embasamento.

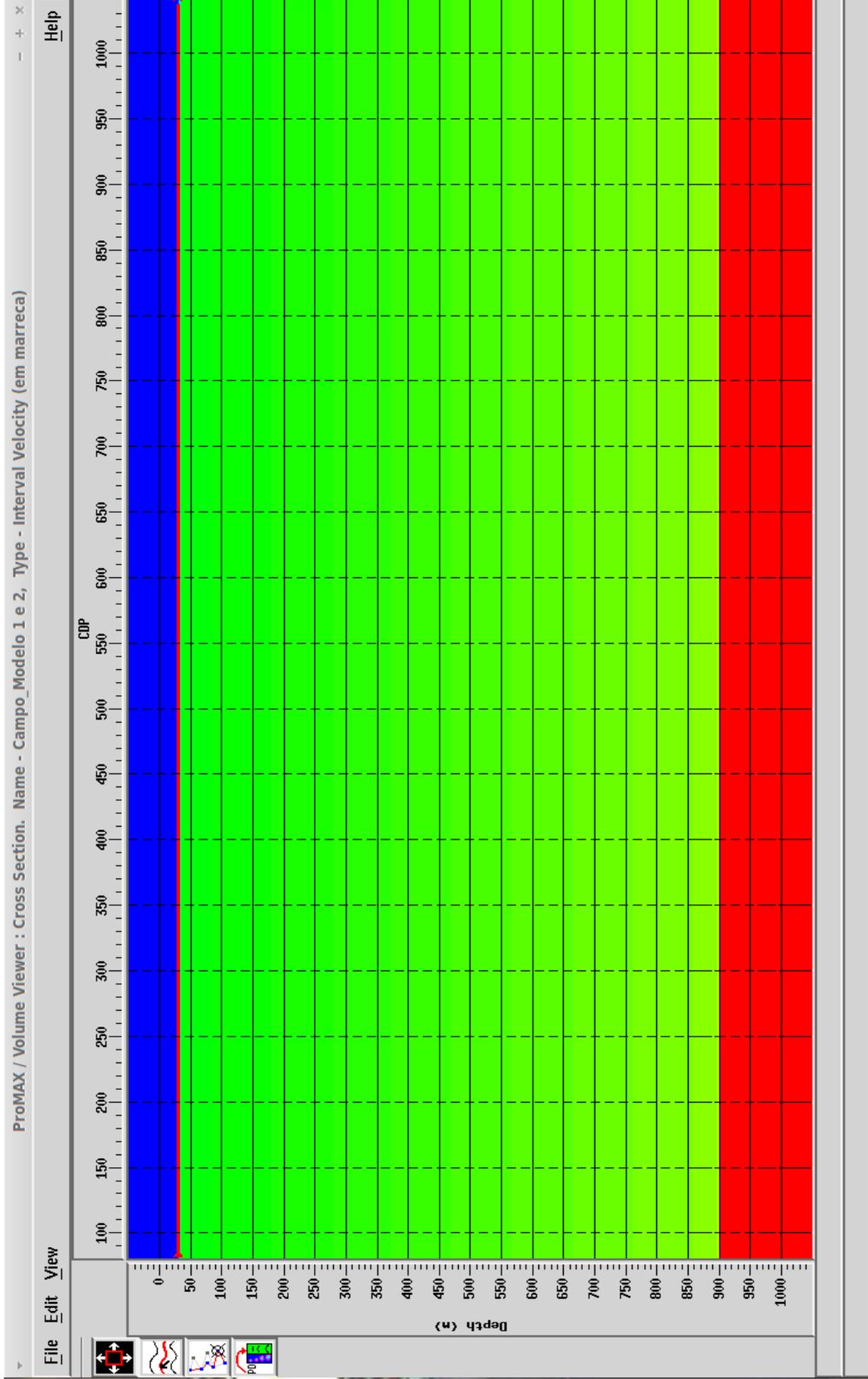


Figura 3.2: Plote dos horizontes 1 e 3 no campo de velocidades intervalar do modelo 1, utilizados para criar as interfaces na modelagem

Agora a resposta de um sismograma de tiro para este modelo mostrando os eventos como onda direta, refletidas e refratada.

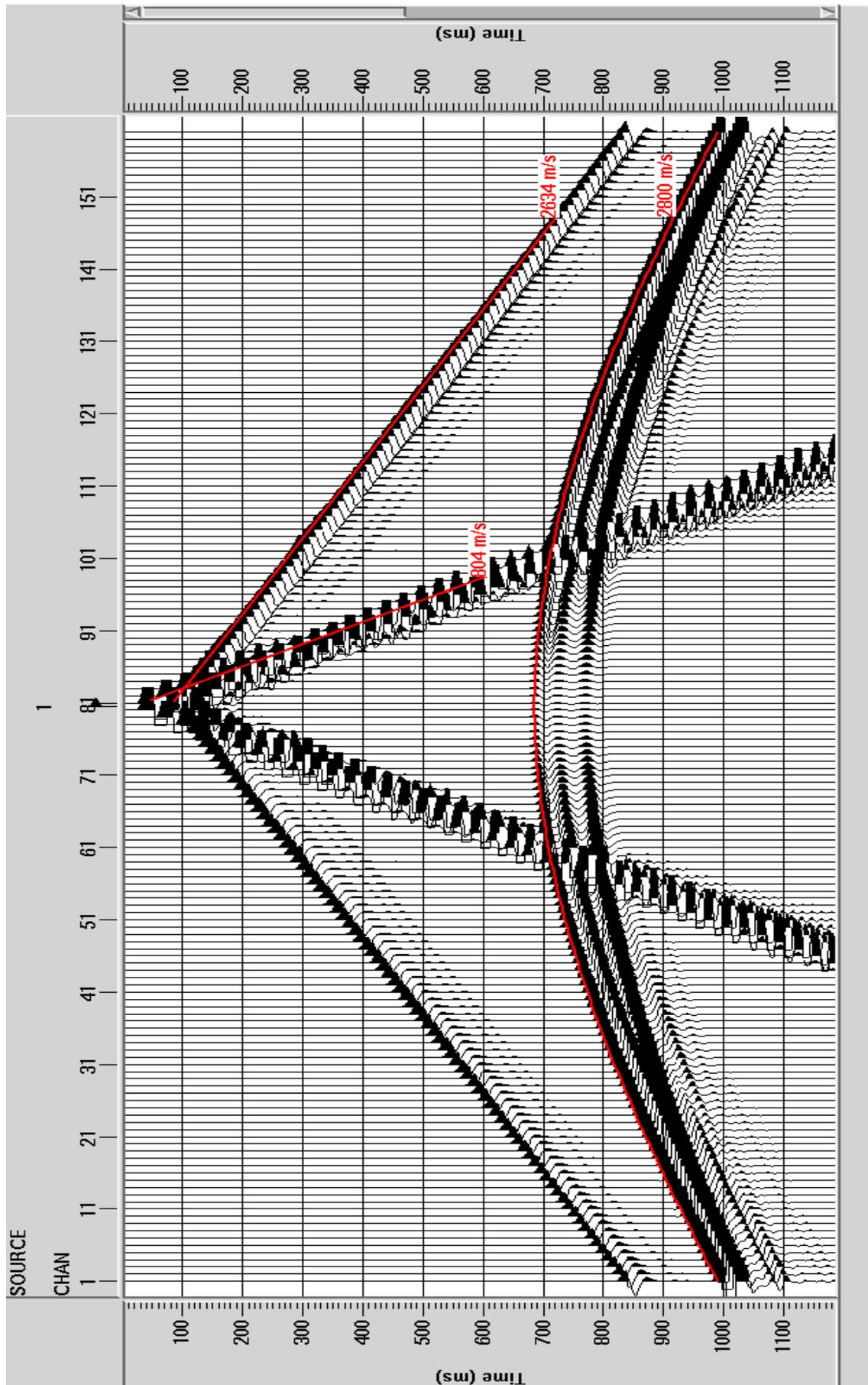


Figura 3.3: Figura indicando os eventos no sismograma de reflexão como a onda direta (800 m/s), a onda refrata (2600 m/s) e a segunda reflexão com velocidade "rms" de aprox. 2800 m/s.

Neste modelo não foi aplicado as correções estática porque simplesmente não é necessário a aplicação da mesma. Verificando o sismograma de tiro já vemos de cara que não há erros estáticos nas primeiras quebras, pois estes últimos estão perfeitamente bem alinhados e lineares como era de esperar para o modelo. Na figura a seguir podemos ver o campo de velocidade intervalar que foi usado para geração do dado sintético.

Para a análise de velocidade neste modelo e em todos os outros três foram marcados apenas dois picks (pontos), que são relativos a primeira reflexão na primeira camada e a segunda reflexão na interface base da Sub-ZBV e o embasamento. Em sequência temos campo de velocidades rms para este modelo, conforme figura a seguir.

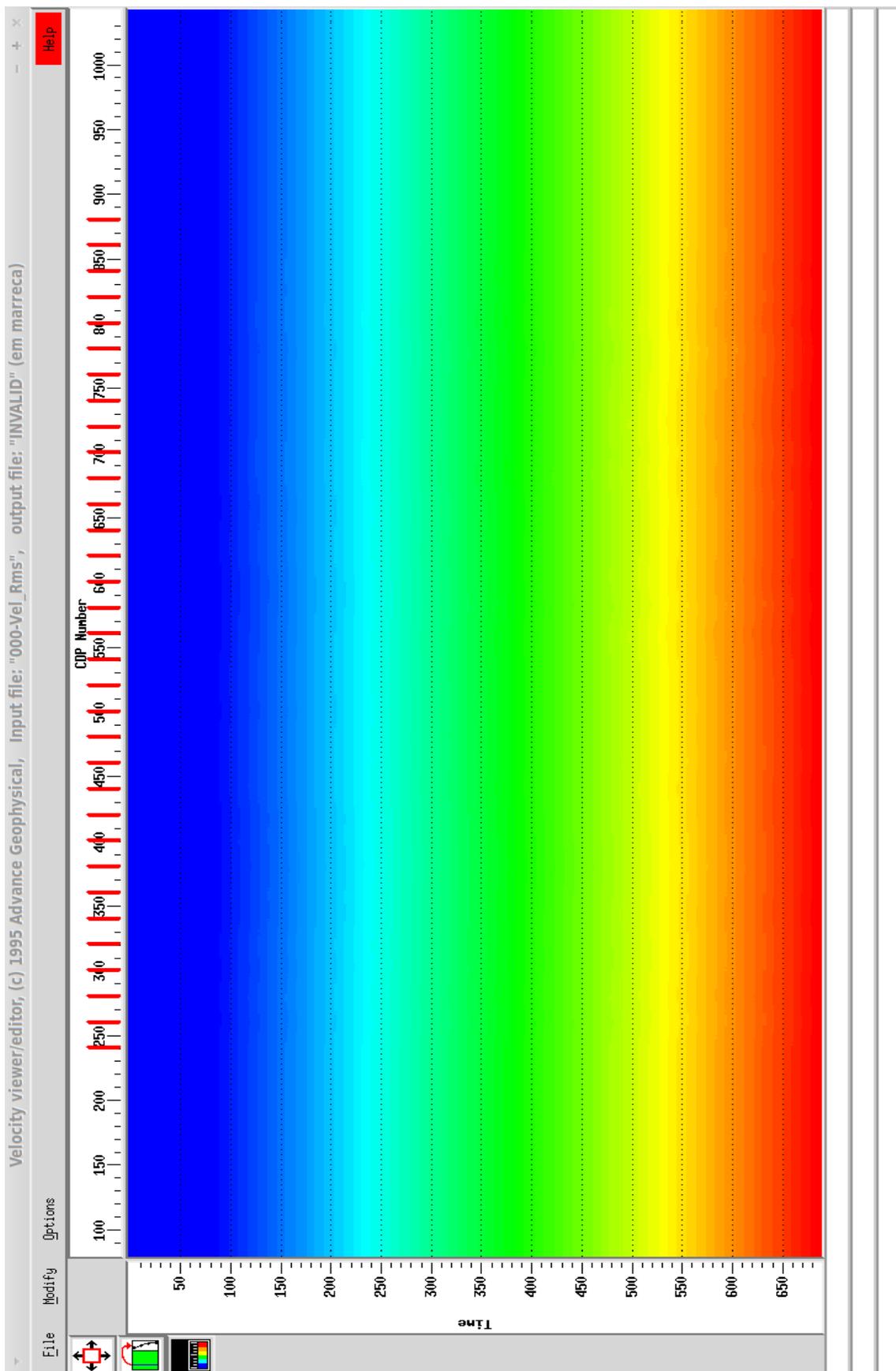


Figura 3.4: Campo de Velocidades Rms obtido através do processo de análise de velocidade referente ao modelo 1.

Para todos os modelos foram feitos mutes internos e externos antes do empilhamento, isto para a onda direta, para o efeitos de borda e também para o efeito de estiramento do traço após a aplicação da correção de NMO. Nas figuras seguintes serão apresentadas essa aplicação de mute e a própria seção empilhada com essas edições.

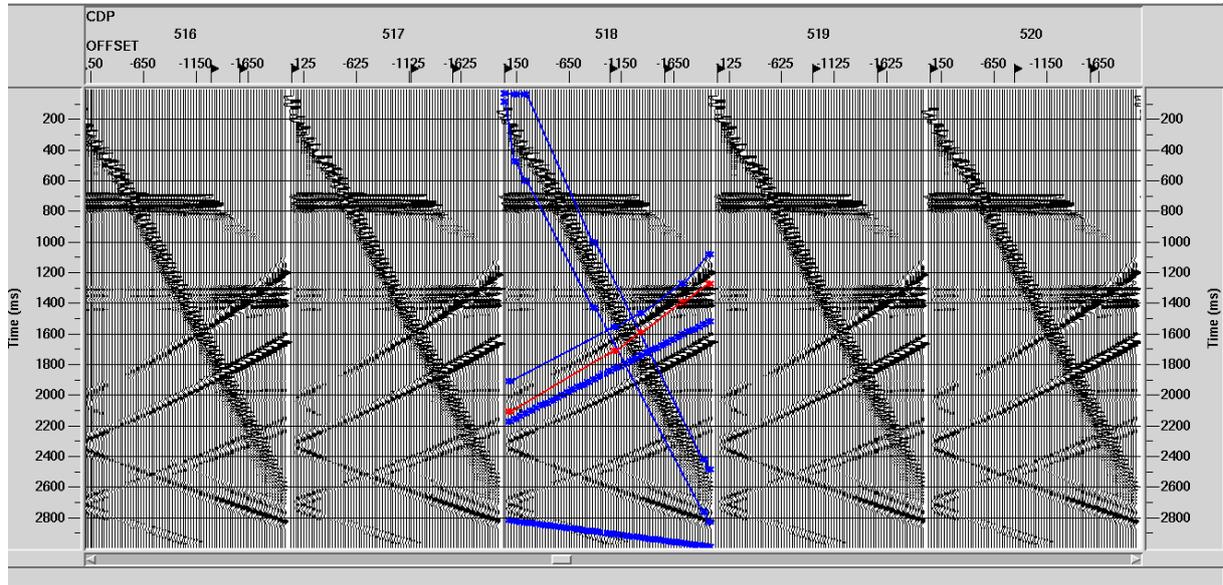


Figura 3.5: Seção de offset comum com a aplicação de mutes internos para a onda direta e os efeitos de borda ocasionados pela modelagem por diferenças finitas.

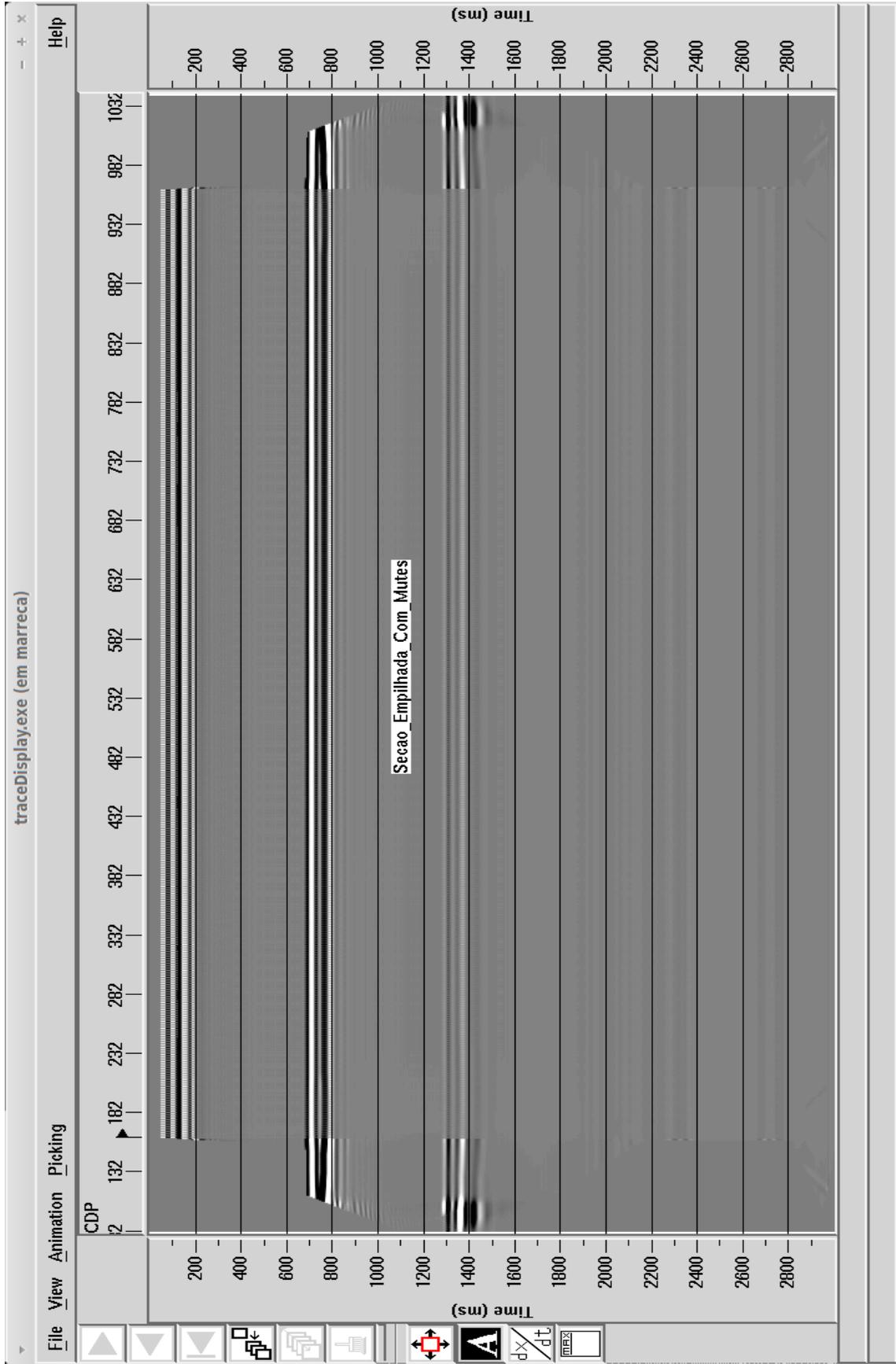


Figura 3.6: Seção empilhada do modelo 1 até o tempo de três segundos.

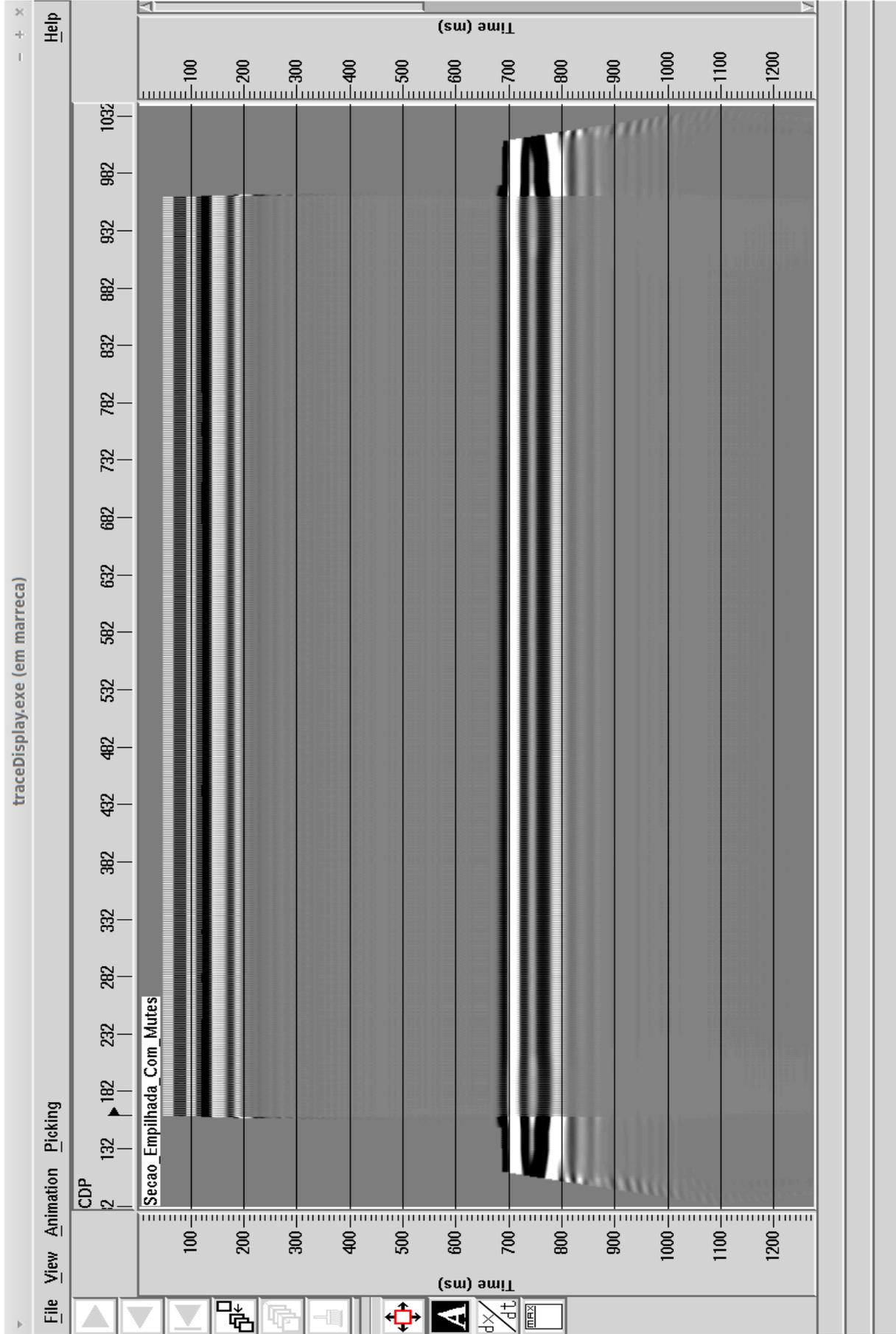


Figura 3.7: Seção empilhada do modelo 1 com zoom no tempo até 1300 ms para focar mais nas reflexões.

A conclusão que podemos ter é que quando a topografia do dado é plana e base da ZBV também é plana não é necessário a aplicação das correções estáticas. Ou seja de maneira geral a ZBV pode até atenuar a energia da onda sísmica, mas se sua interface for plana nenhum refletor será prejudicado ou nenhum efeito indesejável será criado, em outras palavras a presença da ZBV não é um fator que compromete a qualidade da seção sísmica, mas sim a sua variação de espessura conforme veremos em modelos posteriores.

3.2.2 Modelo 2

Para o modelo 2 assim como o 3 e 4 as camadas são as mesmas que o modelo 1, ou seja a ZBV e o embasamento com velocidades constantes e um gradiente de velocidade na Sub-ZBV, conforme já dito anteriormente, mas a diferença é que nesse modelo há uma variação da topografia que é acentuadamente bem brusca em alguns lugares chegam a variar de 135 metros até 60 metros, essa topografia não é artificial, mas sim uma topografia real de uma linha sísmica da Bacia do Recôncavo que foi também usada neste trabalho a seguir, isso feito para se aproximar mais ainda as características de modelos reais. O campo utilizado para o modelo 2 foi o mesmo do modelo 1, só que com a topografia carregada acima de 0 metros com a velocidade sísmica da ZBV, ou seja neste caso então a espessura mínima da ZBV é de cerca de 30 metros (do campo de velocidade 1) mais 60 metros da menor elevação da linha, ou seja 90 metros de espessura mínima de ZBV e com 135 metros mais 30 metros do modelo, dando aproximadamente 165 metros de espessura de ZBV, isso foi proposital para se apresentar erros estáticos suficientemente bons de serem vistos a olho nu, no sismograma de tiro ou até na seção empilhada mesmo.

Na figura a seguir podemos ver o tiro 1 para o modelo 2, o "desaparecimento" da onda direta se deve as variações topográficas. Mostrando o que causa o efeito da variação topográfica para as primeiras quebras e a reflexão da segunda interface.

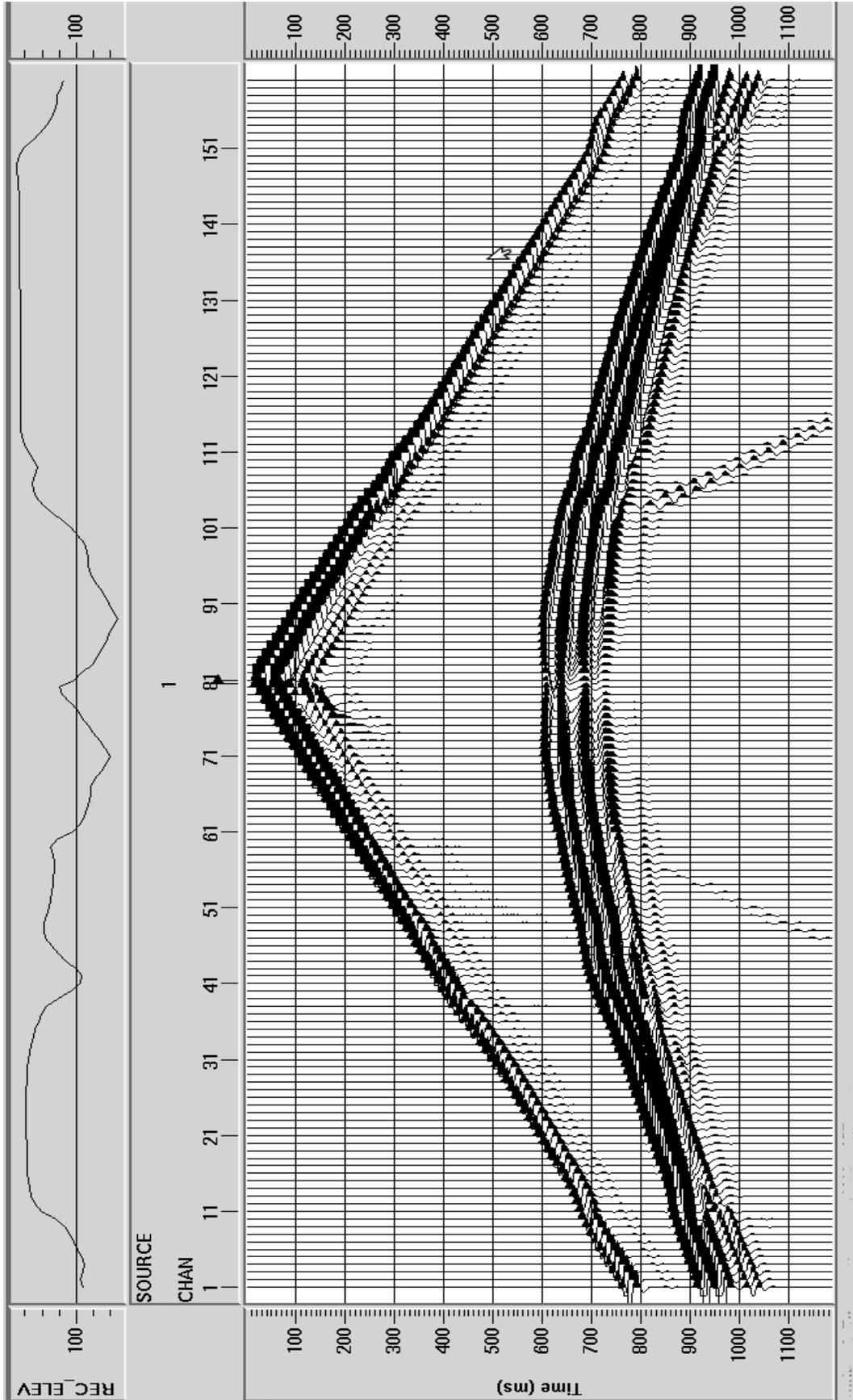


Figura 3.8: Tiro 1 para o modelo 2, acima tem-se a variação da topografia na escala em metros.

Agora para termos uma ideia maior da importância da estática vamos ver a comparação entre certos tiros apenas com a geometria e em seguida os mesmos tiros com a aplicação da correção estática e o plote da elevação acima com sua escala em metros.

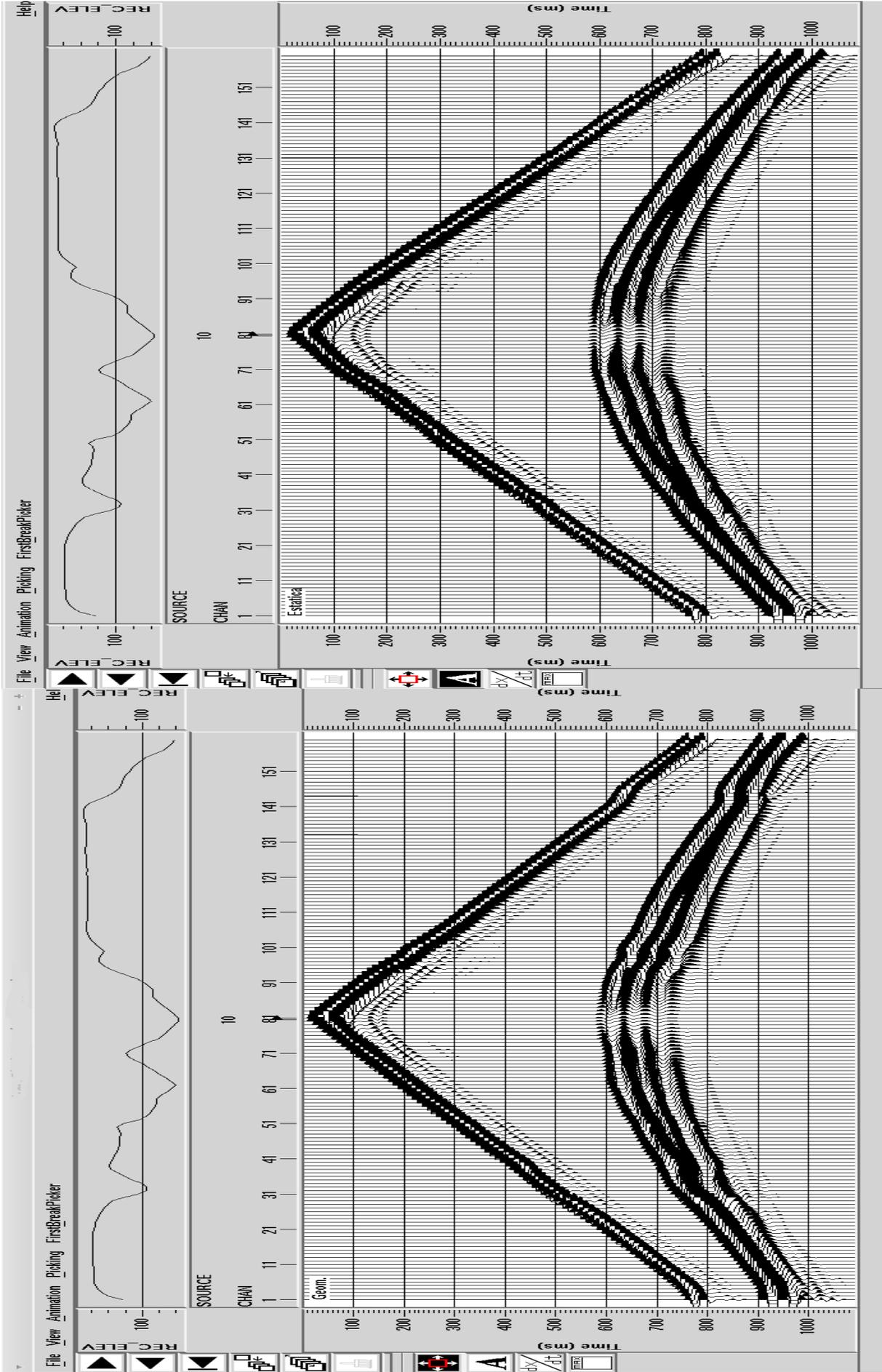


Figura 3.9: Comparação do tiro 10 com e sem a aplicação da estática.

Com a finalidade de ficar mais perceptível os os erros dos sismograma e também da melhora no alinhamento tanto das primeiras quebras quanto da segunda reflexão a seguir tem-se a mesma imagem do tiro 10 como efeito de zoom para melhorar a visualização destes itens anteriormente citados.

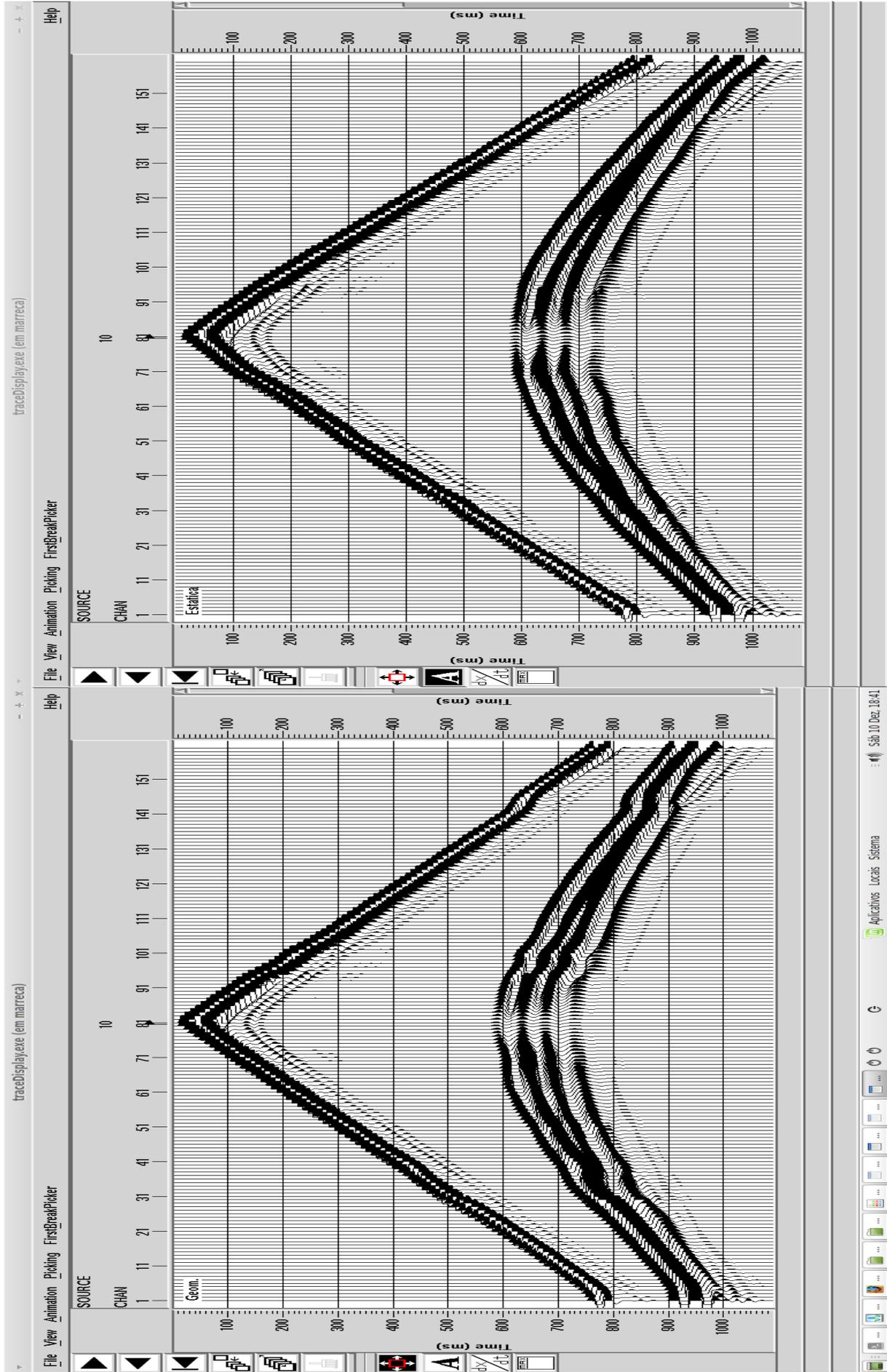


Figura 3.10: Comparação do tiro 49 com e sem a aplicação da estática.

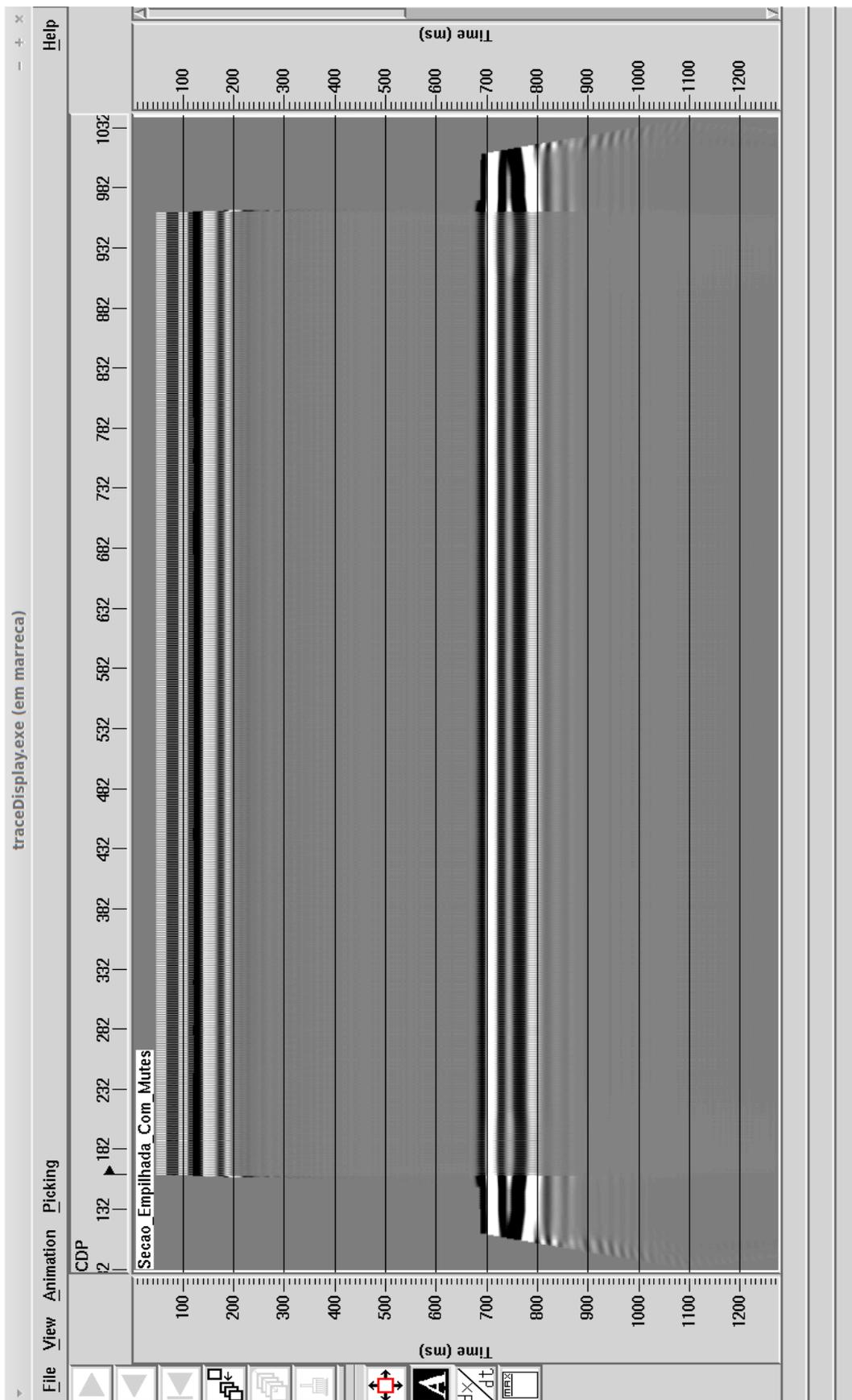


Figura 3.11: Seção empilhada do modelo 1 com zoom no tempo até 1300 ms para focar mais nas reflexões.

O que já no domínio do tiro podemos dizer com garantia e clareza que os erros estáticos provocados pela variação topográfica foram corrigidos pela estática. Neste caso foi necessário aplicar tanto a estática de elevação quanto a estática de refração, pois a estática de elevação não apresentou resultados suficientes e após a estática de refração as correções foram suficientemente eficientes como mostrado nas figuras anteriormente. Isso pode ser ocasionado tanto pelo fato da modelagem finita utilizada no *software* não ser boa para usar as elevações do header ou ainda devido a espessura da ZBV que demasiado grande em alguns pontos de modo que os erros precisariam ser calculados tanto devido a elevação quanto da espessura da zona de intemperizada. Na figura seguir vemos a comparação da seção empilhada com as correções estáticas de campo e antes da aplicação das mesmas.

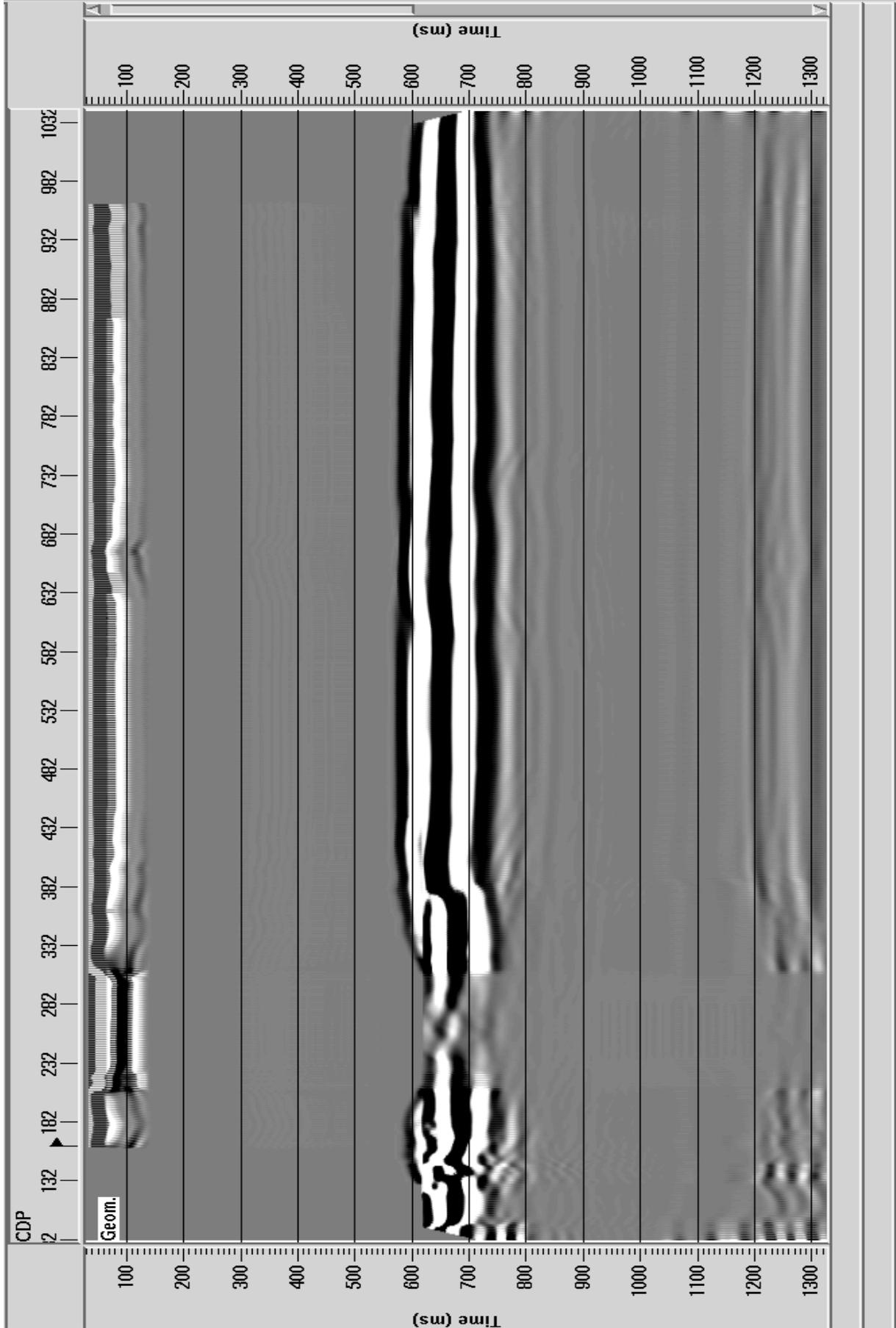


Figura 3.12: Seção empilhada do modelo 2 apenas com a geometria e sem aplicação da estática.

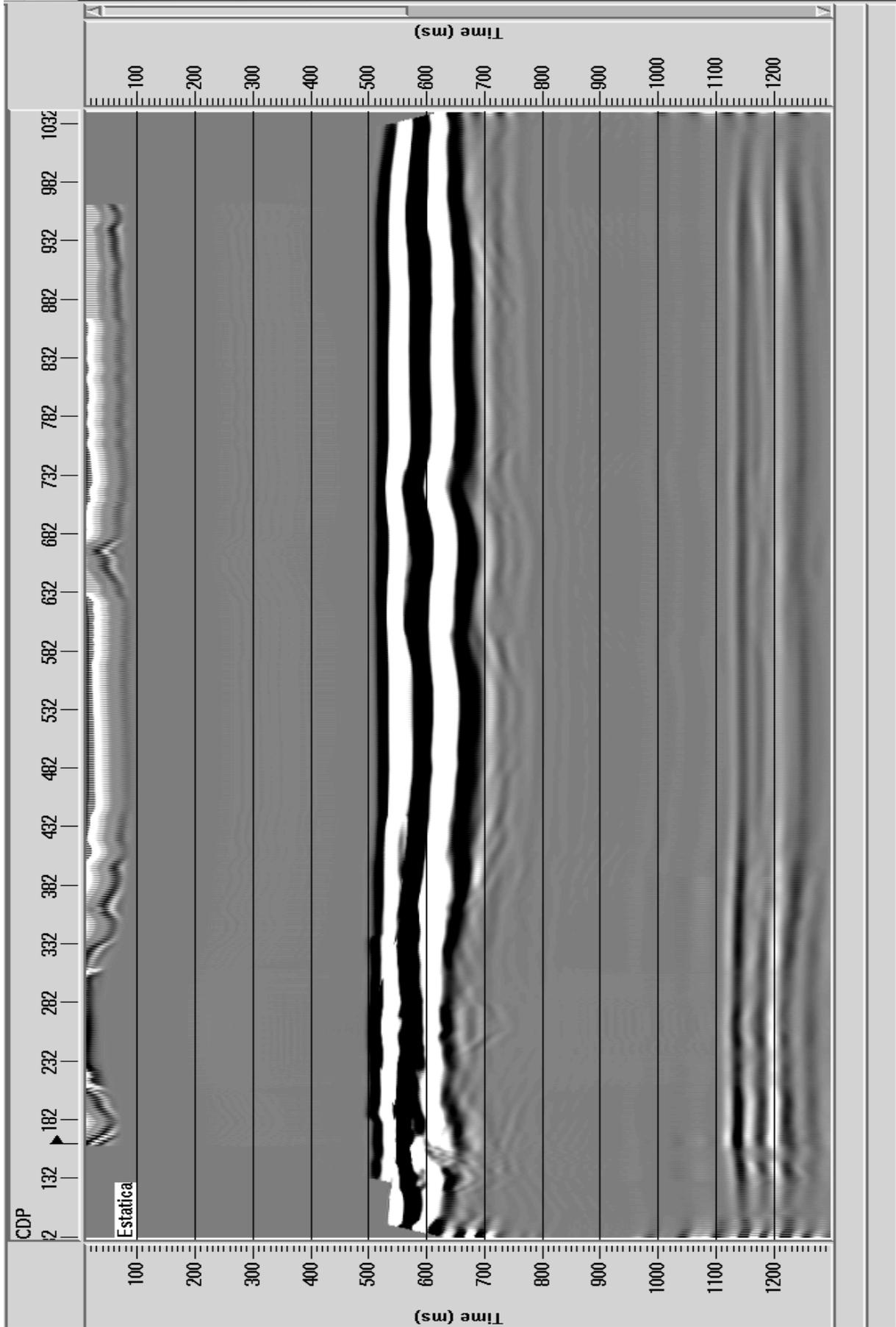


Figura 3.13: Seção empilhada do modelo 2 com a aplicação da estática.

Com isso podemos tirar como conclusão que como previsto em regiões onde a topografia varia bastante ou bruscamente conforme o levantamento vai sendo feito, os erros estáticos são grandes já em regiões onde a topografia varia muito pouco ou suavemente os erros estáticos são tão pequenos a ponto de não serem percebidos nos sismogramas de tiro ou até talvez nas seções empilhadas. Coincidentemente na região de maior variação da topografia é onde a ZBV também é mais espessa o que aumenta os erros provocados pela atenuação da energia sísmica conforme pode ser notado nas seções empilhadas anteriores. A figura a seguir mostra a topografia da linha sísmica aplicada ao dado sintético do modelo 2 e 4.

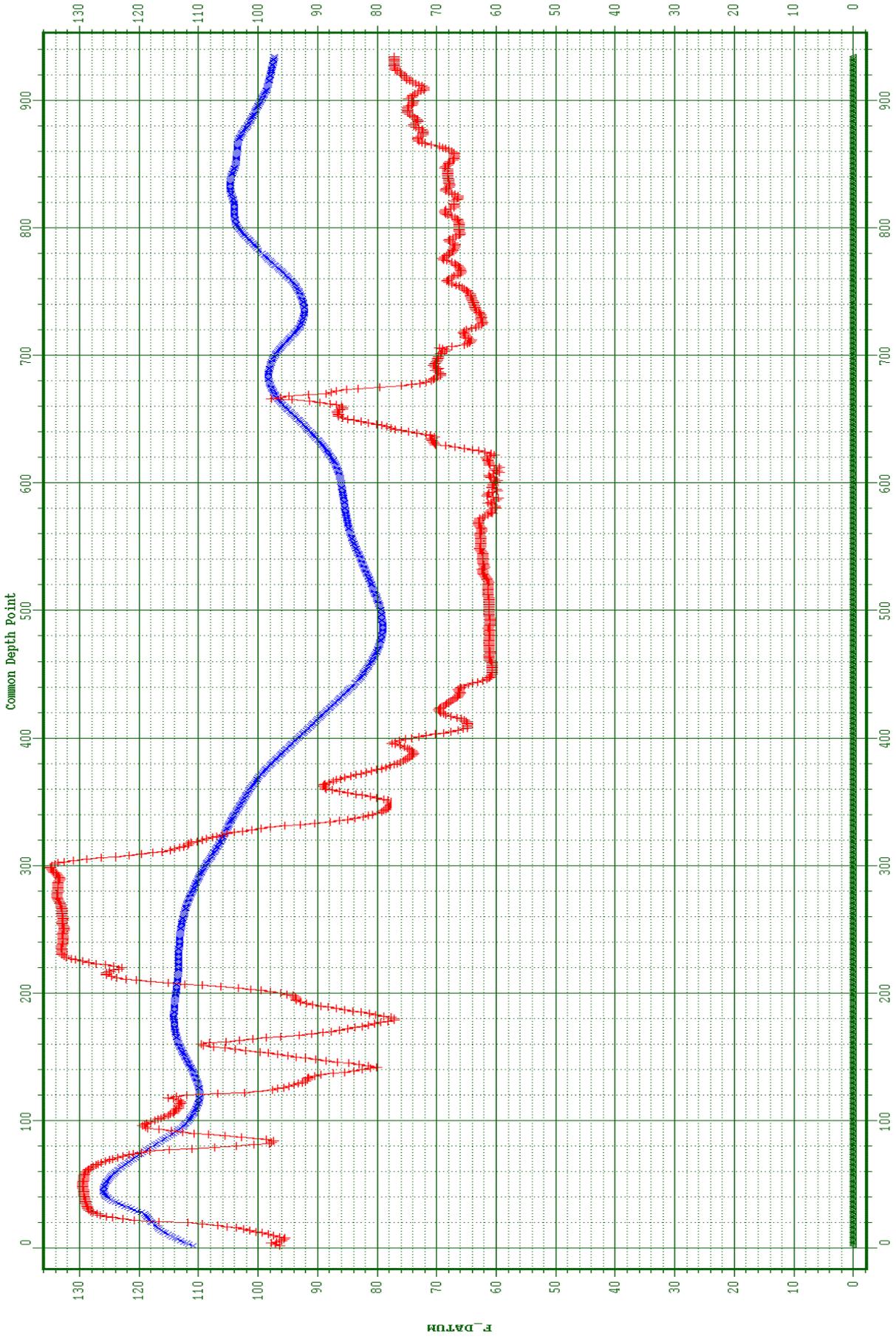


Figura 3.14: Topografia da linha sísmica (em vermelho) aplicada ao modelos 2 e 4.

3.2.3 Modelo 3

O modelo 3 é um campo diferente dos modelos 1 e 2, no seguinte aspecto, o horizonte que faz a interface base da ZBV com a Sub-ZBV não foi mantido mais plano e sim variando ao longo da profundidade. Esse horizonte começa então a 30 m e varia até cerca de 50 metros de profundidade, e possui dois comprimentos de onda diferentes um primeiro comprimento com cerca de 100 cdps até a metade do modelo e um segundo comprimento de cerca de 200 cdps. Esse horizonte foi então mantido e suavizado assemelhando-se a uma senóide para funcionar como base da camada de baixa velocidade se aproximando mais de um modelo real por exemplo. Em outras palavras o modelo 3 possui topografia plana a nível do mar (0m) e base da ZBV variando. Na figura a seguir pode ser notado o campo de velocidade intervalar feito para simular a geologia para o modelo de número 3.

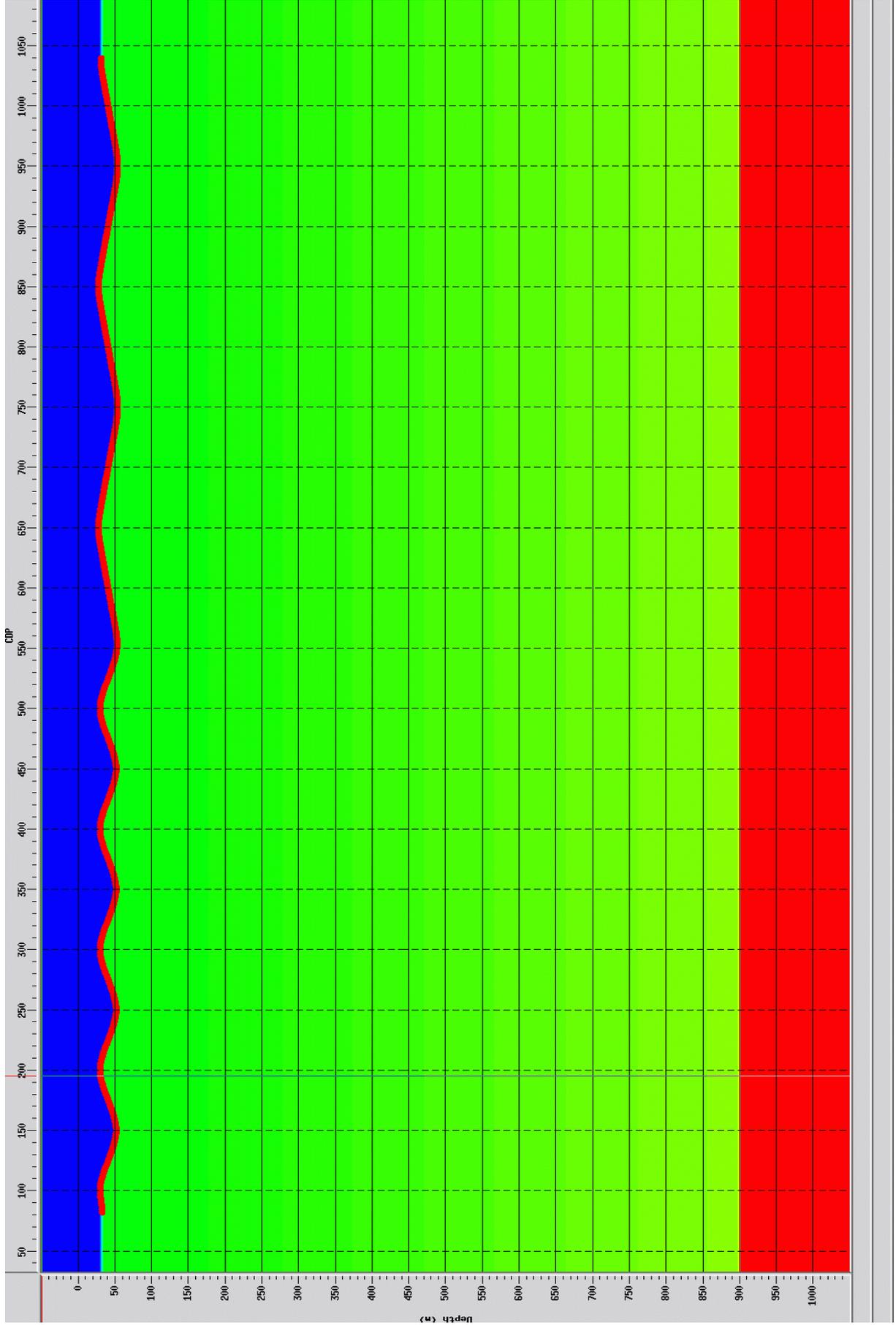


Figura 3.15: Campo do modelo 3 com o horizonte da base da ZBV plotado no mesmo.

Na figura a seguir é mostrado um sismograma de tiro frisando apresentar os erros estáticos causados pela variação da espessura da camada de baixa velocidade, observe que a chave de elevação dos receptores foi plotada acima do sismograma de tiro comprovando que não há variação topográfica e que esta a nível do mar, ou seja, 0 metros.

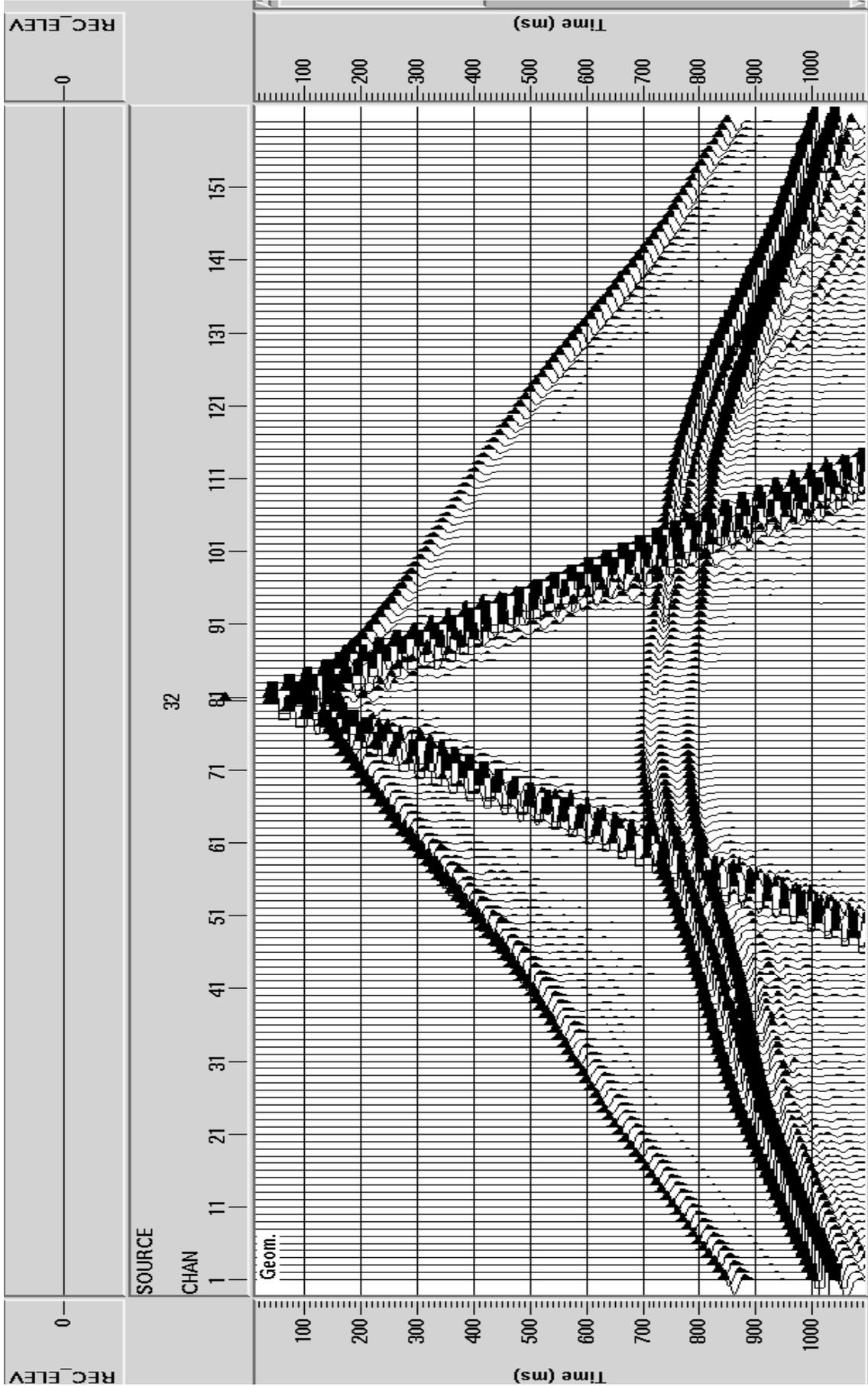


Figura 3.16: Tiro do modelo 3 para apresentação dos erros estáticos e com a chave de elevação dos receptores acima.

Este modelo como só tem base da ZBV variando não foi aplicada a estática de elevação obviamente e sim apenas a correção estática de campo de refração que se mostrou bastante eficiente linearizando as primeiras quebras e melhorando o seguimento das ondas refletidas conforme pode ser visto na figura a seguir, na região com comprimento de onda λ .

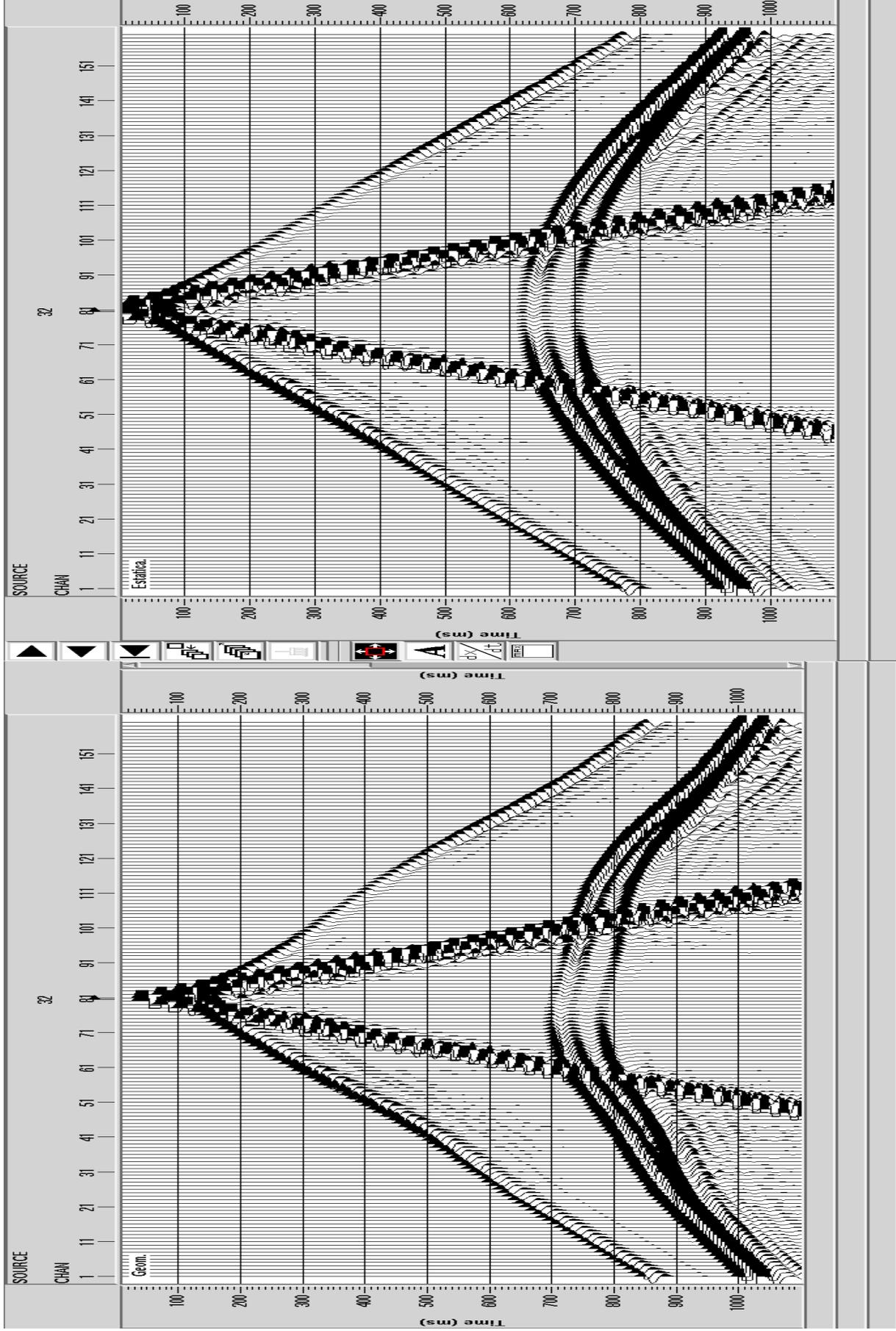


Figura 3.17: Sismograma do tiro 32 do modelo 3, com a aplicação da estática a direita e sem a aplicação da mesma a esquerda.

Agora outro sismograma de tiro na região entre o comprimento de onda λ e 2λ para o refletor da base da ZBV. Como do lado direito a variação da espessura da ZBV é mais suave os erros estáticos são menores e por isso do lado direito dos dois sismogramas (com e sem estática) foi marcado para notar os erros sutis que foram provocados. Observe que do lado esquerdo como os erros são maiores a percepção a olho nu da não linearização das primeiras quebras é também maior. Em vermelho esta marcado como deveria ser o prologamento das primeiras quebras no que diz respeito a linearização.

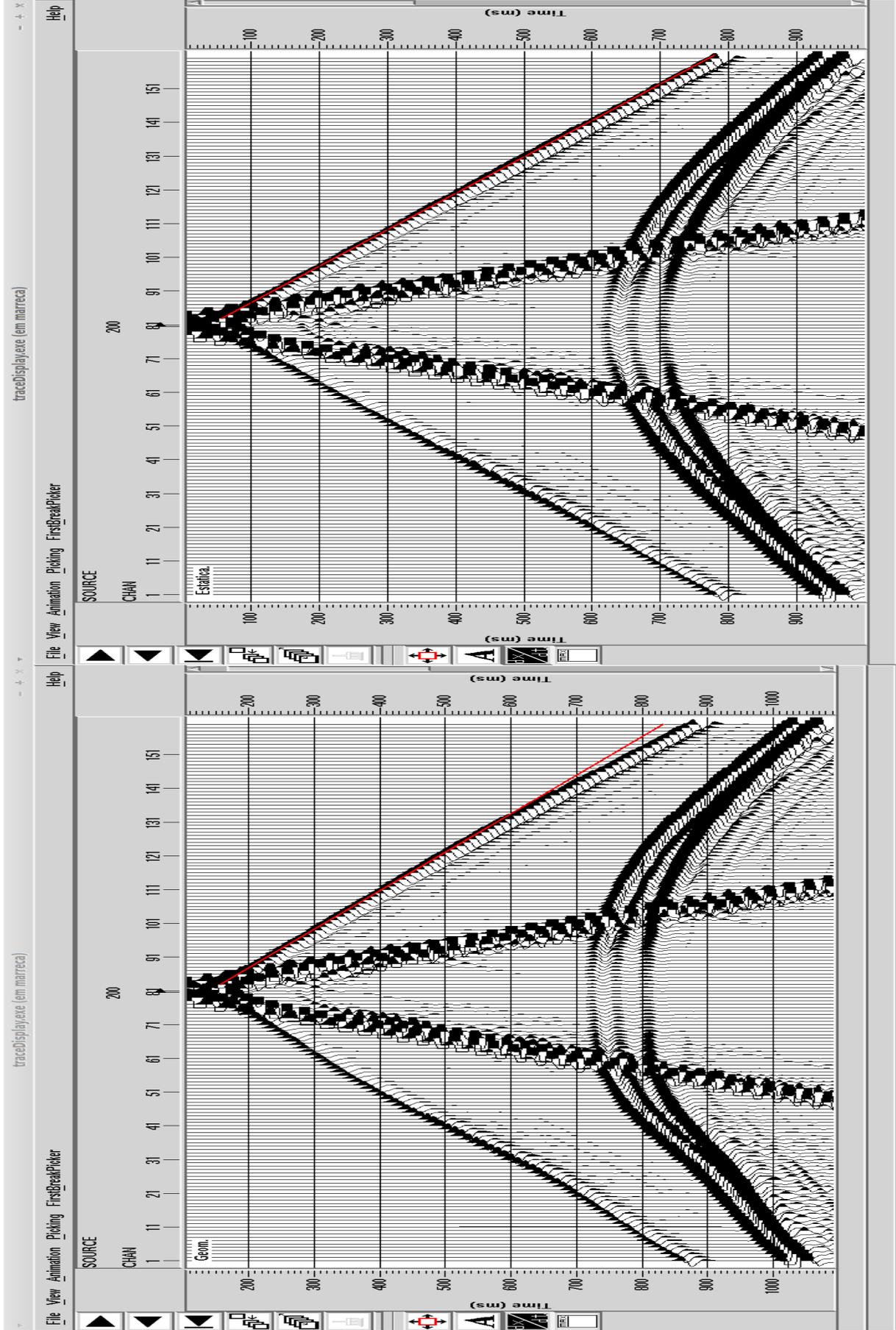


Figura 3.18: Sismograma do tiro 200 do modelo 3, com a aplicação da estática a direita e sem a aplicação da mesma a esquerda.

E por último o efeito apenas da região com o horizonte da base da ZBV da ordem de 2λ . Em vermelho estão destacadas as primeiras quebras, observe que do lado esquerdo do sismograma sem a aplicação da estática os erros são maiores do que na direita que é quase imperceptível, provavelmente isso ocorreu porque o lado direito teve mais influência da ZBV do que na direita, ou seja a direita teve menos espessura da ZBV do que a parte a esquerda do tiro.

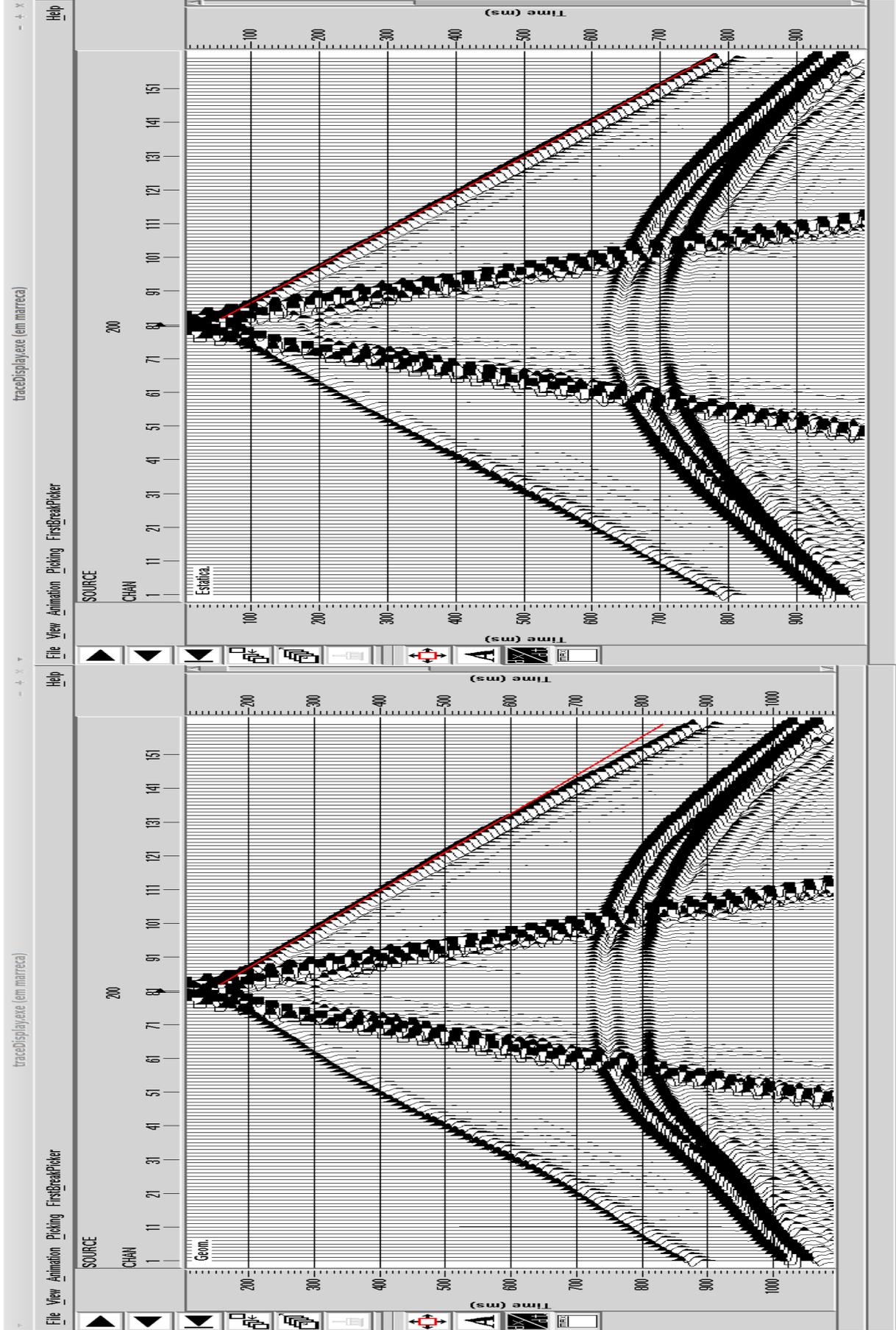


Figura 3.19: Sismograma do tiro 386 do modelo 3, com a aplicação da estática a direita e sem a aplicação da mesma a esquerda.

Agora analisaremos o efeito dos erros estáticos na seção empilhada.

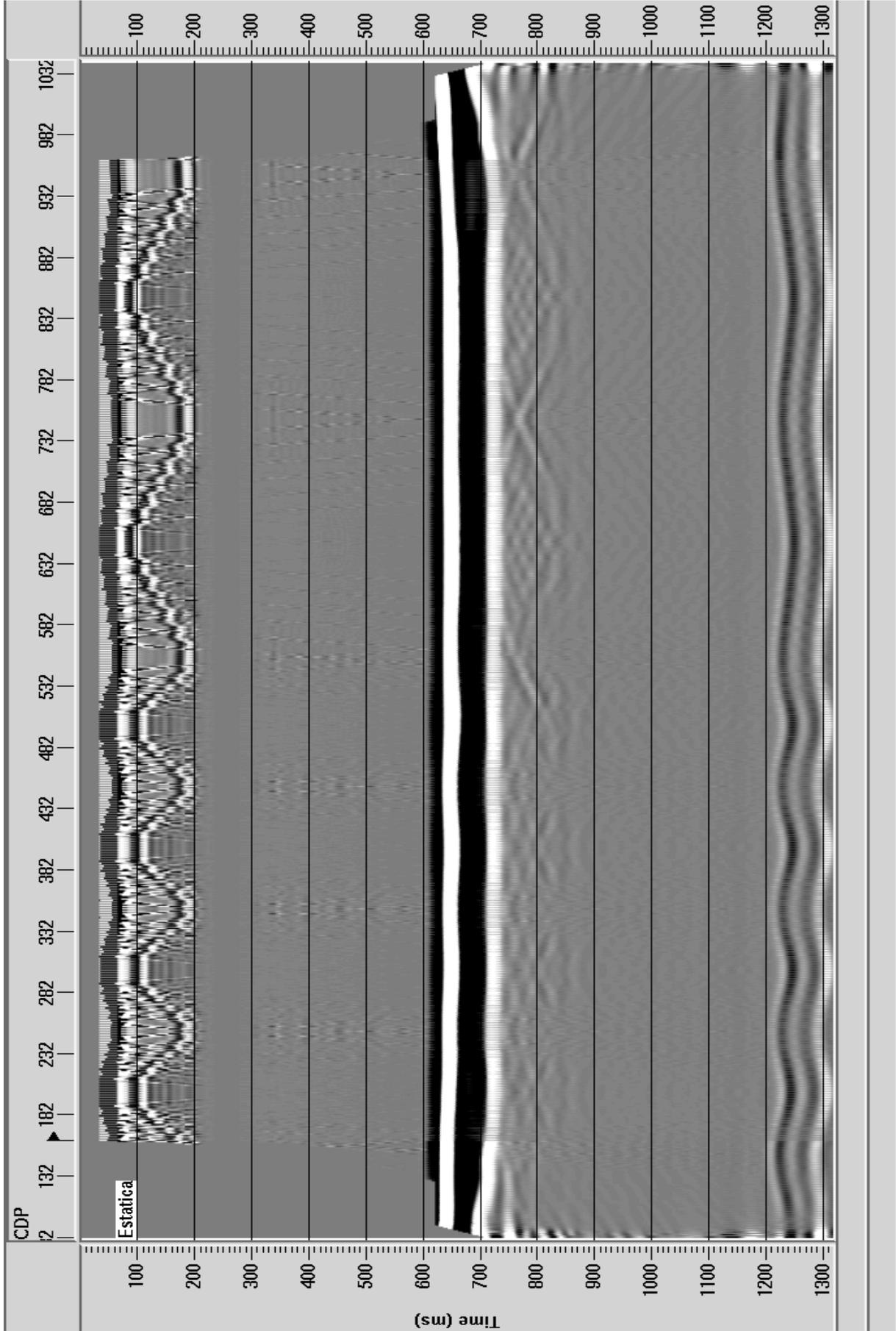


Figura 3.20: Seção empilhada do modelo 3 com a aplicação da correção estática de intemperismo.

Podemos concluir do modelo 3 que embora os erros estáticos aparentassem pequenos consideravelmente no domínio do tiro do lado do refletor com comprimento de 2λ em relação ao lado com comprimento de onda de λ , na seção empilhada ambos alteraram o segundo refletor de modo a criar falsos refletores que sequer existiam, o que mostra a excelência da correção estática para o processamento de dados sísmicos e por consequência para a interpretação, devido aos erros estáticos criarem refletores que sequer existem comprometendo a qualidade da imagem sísmica da subsuperfície.

3.2.4 Modelo 4

O modelo 4 nada é mais é do que o campo do modelo 3 com a topografia de uma linha sísmica real (a mesma usada no modelo2), ou seja, é com topografia variando e base da ZBV também variando, em outras palavras seria como um *merge* entre os modelos 2 e 3. Diante dessa informações já sabemos que para este modelo a espessura mínima da ZBV é 90 metros (pois 60 metros de elevação mais 30 metros de espessura da ZBV pelo campo utilizado), e por conseguinte a espessura máxima é da ordem de 185 metros (pois 135 metros da elevação da linha + 50 metros de espessura do campo) Este modelo portanto a priori deveria apresentar os erros mais grosseiros do que todos os outros correto? Não necessariamente, pois alguns erros gerados com a variação topográfica e da espessura da ZBV podem gerar tanto erros estáticos positivos ou negativos de acordo com a escolha do datum, e por isso não se pode afirmar isso de imediato. Em algumas regiões pode melhorar em outras piorar ou muda pouca coisa e vice-versa, e vai depender se estes erros se somarem construtivamente ou destrutivamente e etc.. Para demonstrar isso olhe a figure a seguir com o sismograma do modelo 3 a direita e do 4 a esquerda.

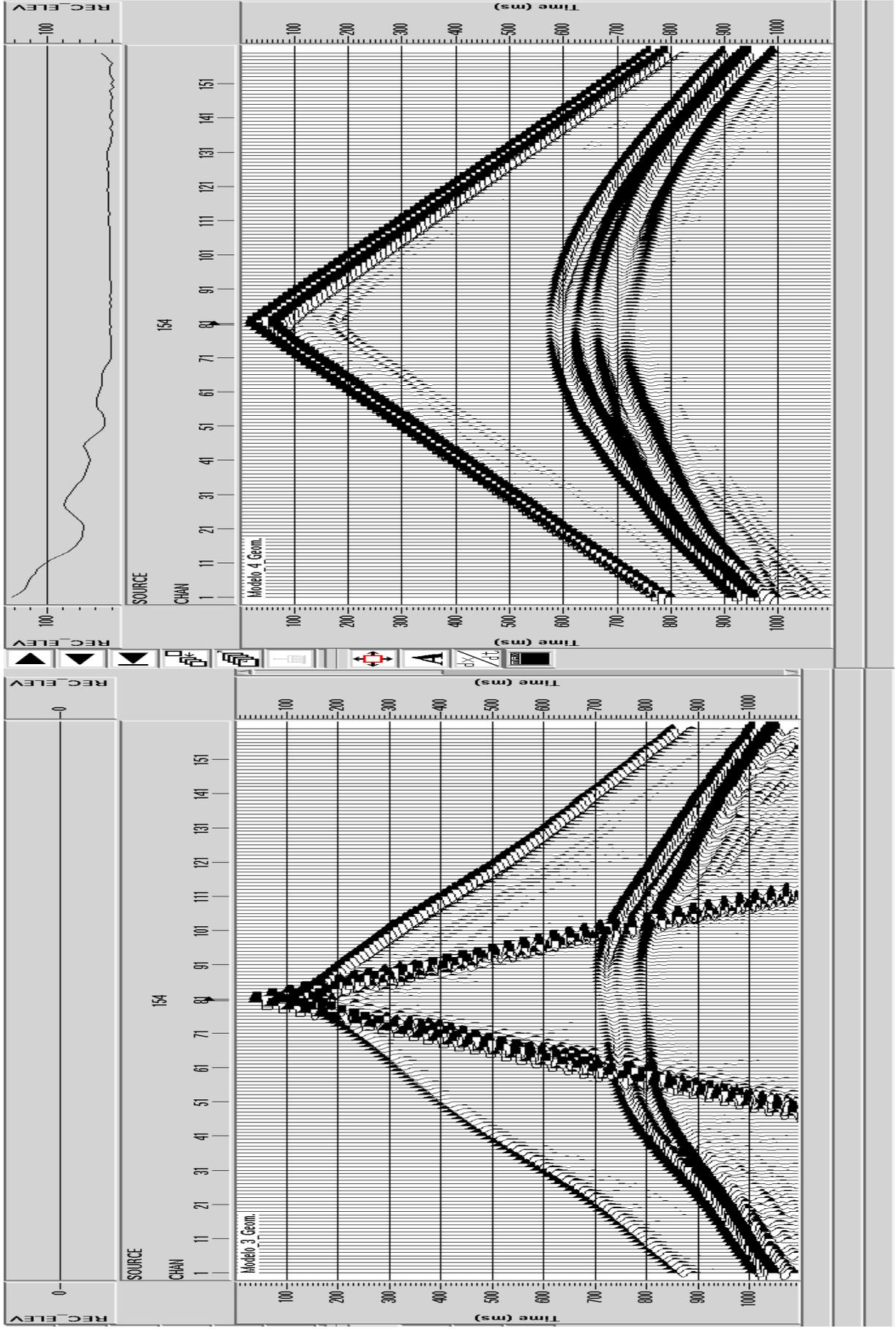


Figura 3.21: Modelo 3 a esquerda e modelo 4 a direita.

Observe que o sismograma da direta apresentou erros estáticos menores provavelmente os erros da variação topográfica que eram pequenos se somaram destrutivamente aos da variação da espessura da ZBV e por isso tanto as primeiras quebras quanto as ondas refletidas se mostraram mais contínuas ou coerentes.

Neste modelo foram aplicadas tanto as correções estáticas de elevação quanto as de refração (intemperismo), na figura a seguir vemos o resultado de suas aplicações.

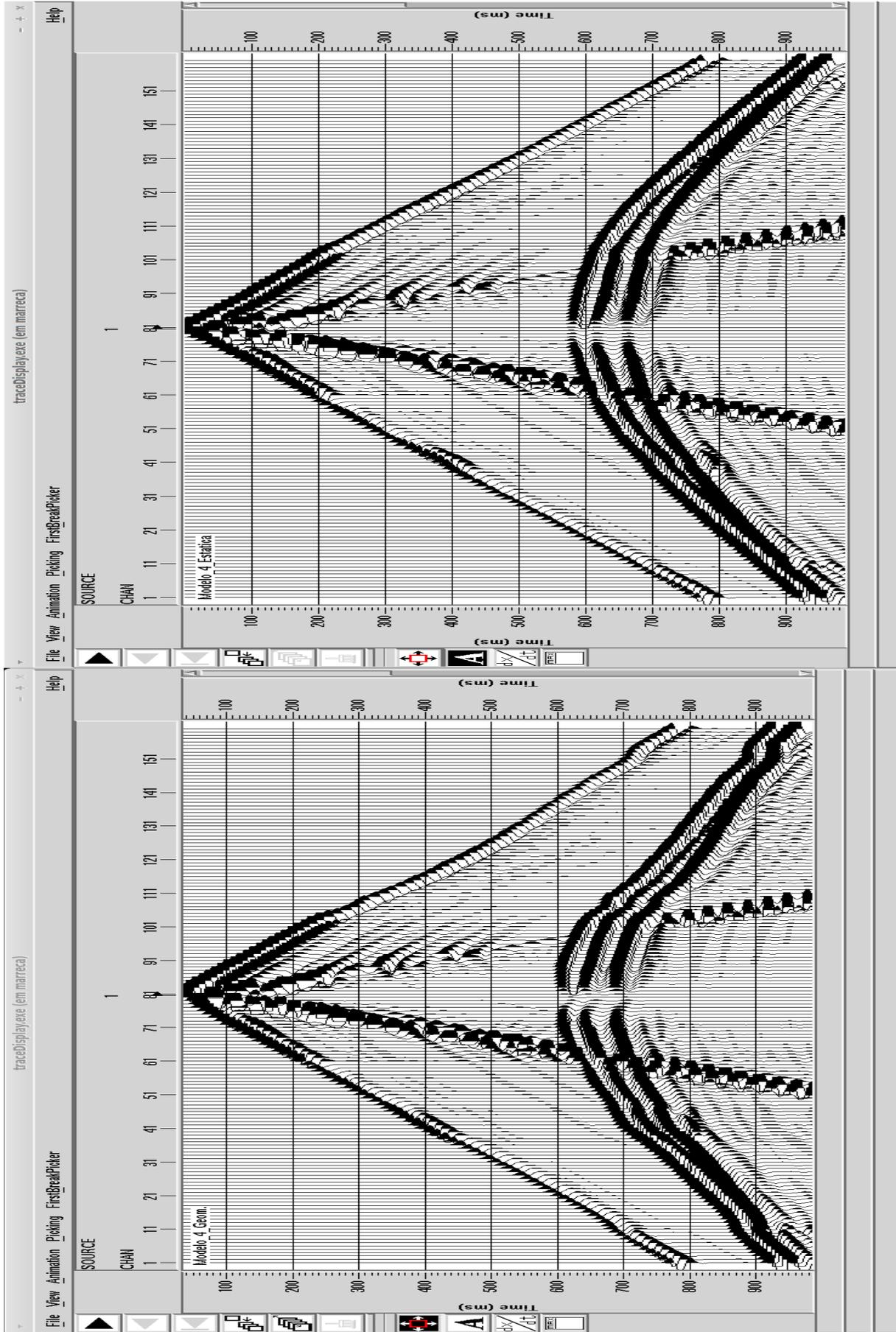


Figura 3.22: Modelo 4 sem a aplicação da estática a esquerda e com a aplicação da estática a direita.

Podemos ver que os eventos ficaram bem mais consistentes coma a aplicação da estática de campo, agora vamos ver na seção empilhada.

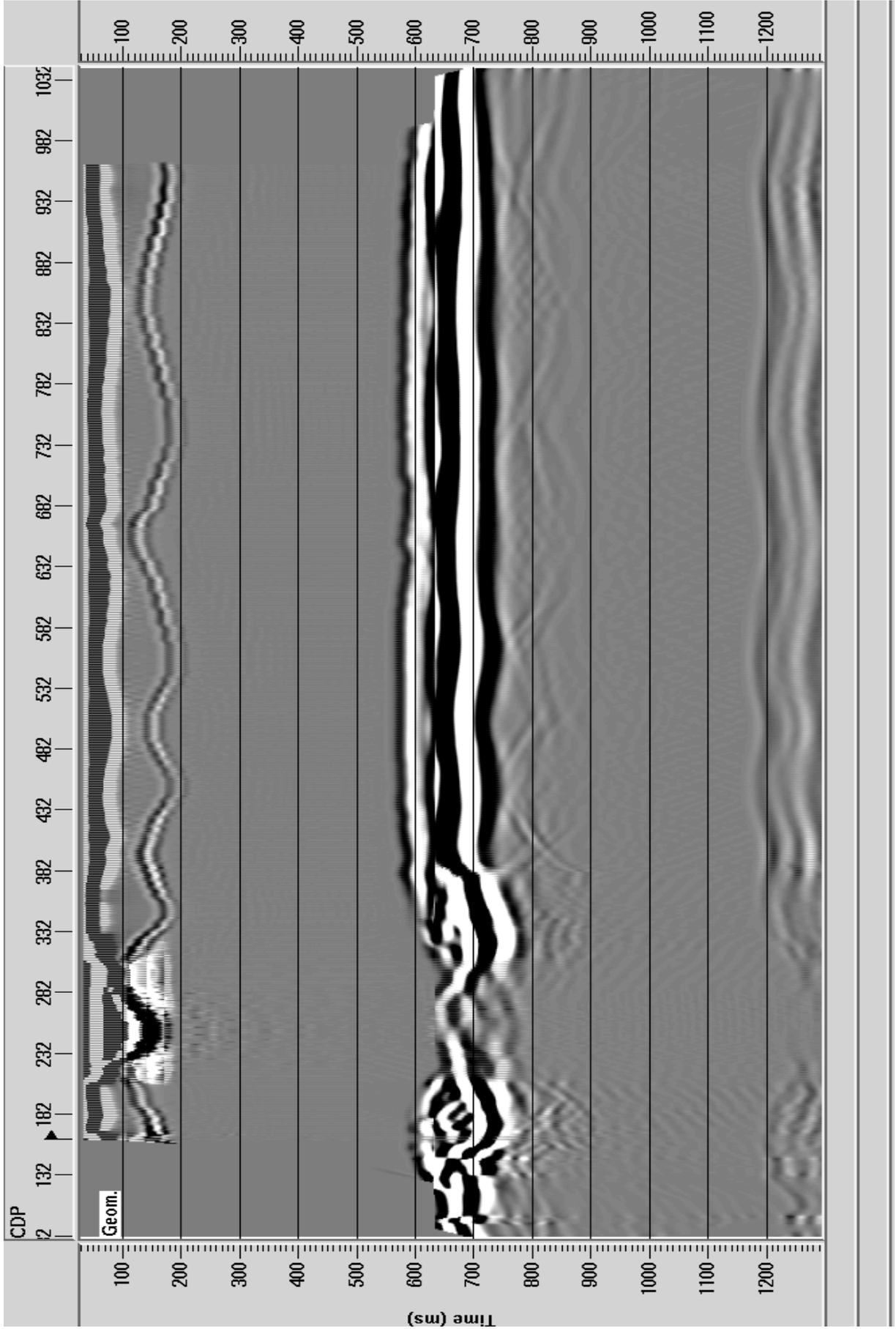


Figura 3.23: Seção empilhada do modelo 4 sem a aplicação da estática de campo.

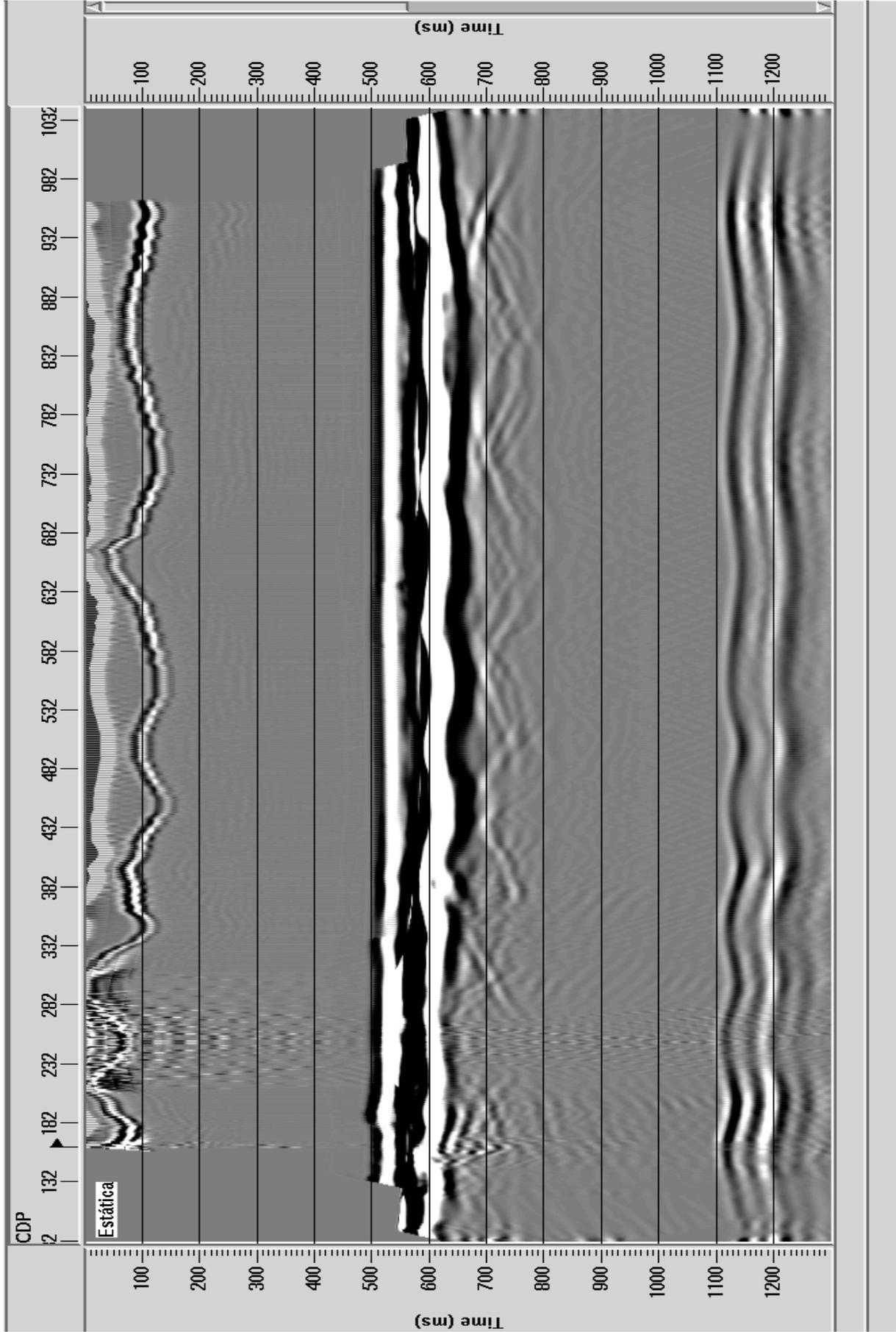


Figura 3.24: Seção empilhada do modelo 4 com a aplicação da estática de campo.

Com o objetivo de melhorar ainda mais a linearização do segundo refletor foi aplicada a estática residual, conforme podemos verificar no resultado a seguir.

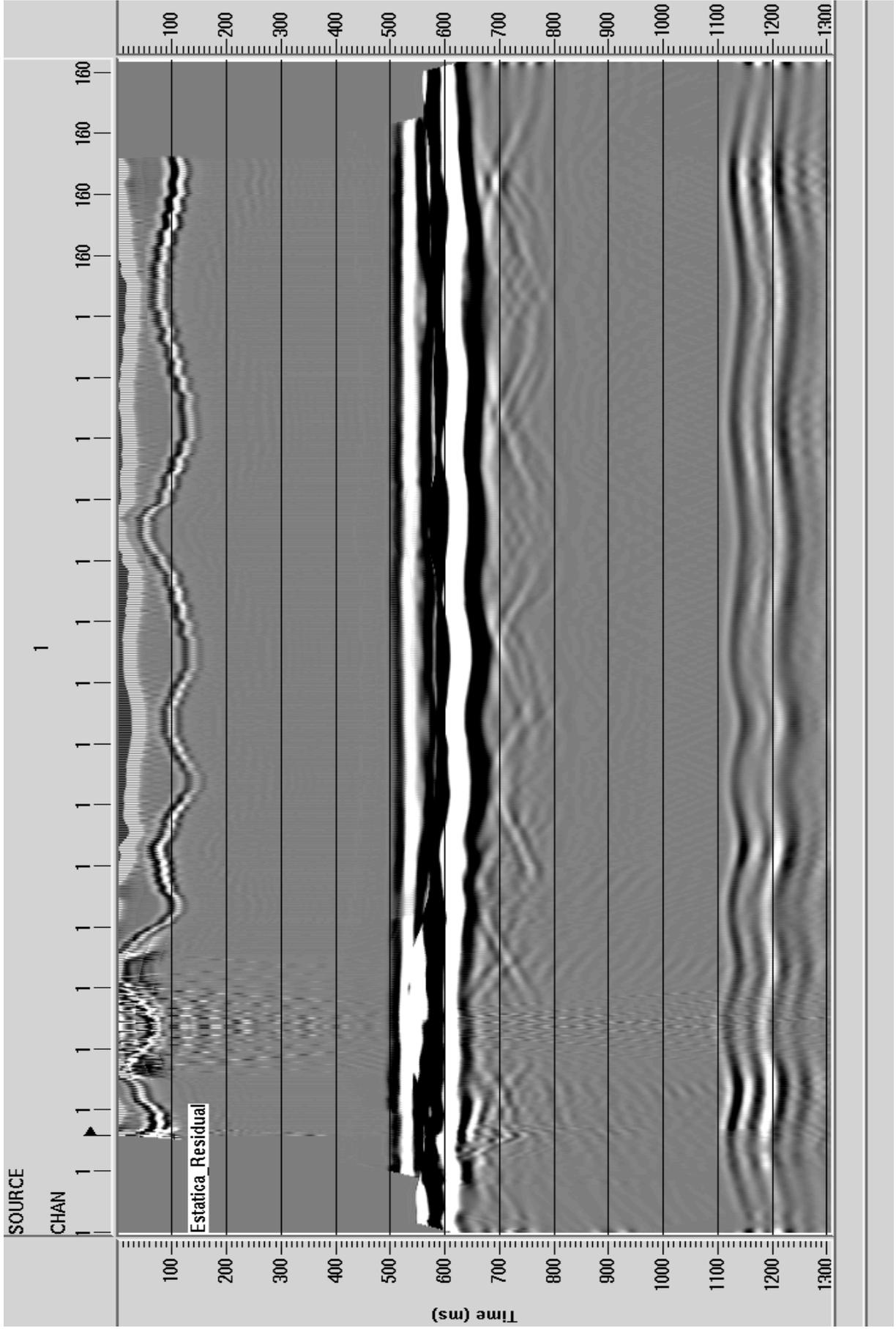


Figura 3.25: Seção empilhada do modelo 4 com a aplicação da estática residual.

Observe que uma melhora foi obtida do lado esquerdo da seção empilhada um resultado claro e perceptível conseguido pela correção estática residual que deve ser aplicada quando as correções de campo não são capazes de se corrigir todos os erros estáticos.

CAPÍTULO 4

Aplicação em Dado Real

4.0.1 Correções Estáticas

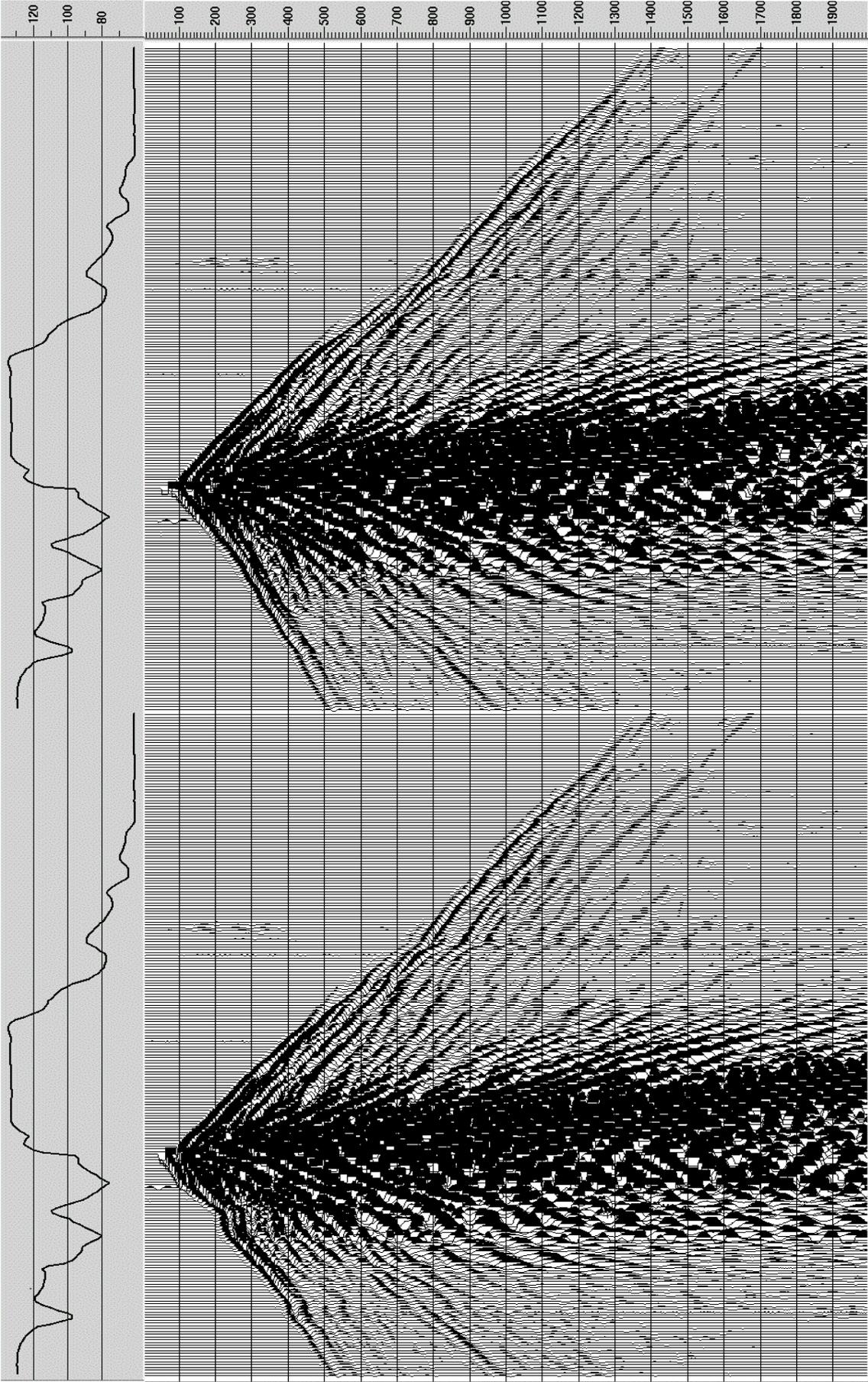
Dois tipos de correções de tempo devem ser aplicados aos tempos de reflexão nos traços sísmicos individuais para que esses possam representar corretamente estruturas geológicas em subsuperfície. São elas as correções estáticas e correções dinâmicas, assim chamadas porque a primeira é uma correção aplicada no traço a um tempo fixo enquanto que na segunda varia em função do mesmo. Trataremos aqui das correções estáticas de campo e no processamento avançado as correções estáticas residuais e correção dinâmica.

A correção estática é uma correção de tempo aplicada aos traços sísmicos de maneira que os tempos de reflexão fiquem referenciados a um datum plano. Estas diferenças de tempo são introduzidas por irregularidades próximas à superfície como elevações do terreno, variações da geologia próxima a superfície devido a diferentes graus de intemperismo, aos depósitos superficiais inconsolidados e lateralmente heterogêneos e a variação do nível freático que compõem a camada intemperizada ou Zona de Baixa Velocidade (ZBV). Basicamente a correção estática não pode ser desprezada em dados terrestres, e geralmente, não é aplicada a dados marinhos embora duas distorções podem ser passíveis de serem tratadas; como à profundidade da fonte e dos receptores ou efeitos causados pelas variações do nível do mar provocada pelas marés (Rosa 2010).

A aplicação das correções estáticas representa a simulação que seria caso fontes e receptores estivessem sobre uma superfície denominada datum, em pontos acima ou abaixo de suas posições reais, eliminando assim, portanto os deslocamentos produzidos pela variação da topografia e/ou ZBV. Existem as correções estáticas de campo e as correções estáticas residuais, a primeira associada a correções de intemperismo e elevação levando fonte e receptor para o mesmo datum, que mostraremos resultado a seguir e as residuais que possuem a função de corrigir erros não resolvidos na estática de campo; que serão discutidas adiante.

4.1 Comparação Antes e Após a Correção Estática de Campo

Nas figura seguintes são mostrados a comparação de um sismograma sem a aplicação da correção estática e após a aplicação da mesma.



(I)

(II)

Figura 4.1: Sismogramas antes (I) e após a aplicação da correção estática (II). Acima temos a variação topográfica com sua escala em metros.

Podemos observar que no lado esquerdo do sismograma (I) da Figura 5, onde a topografia varia mais, há um erro maior da estática e, portanto, perceptível em II a sua respectiva correção.

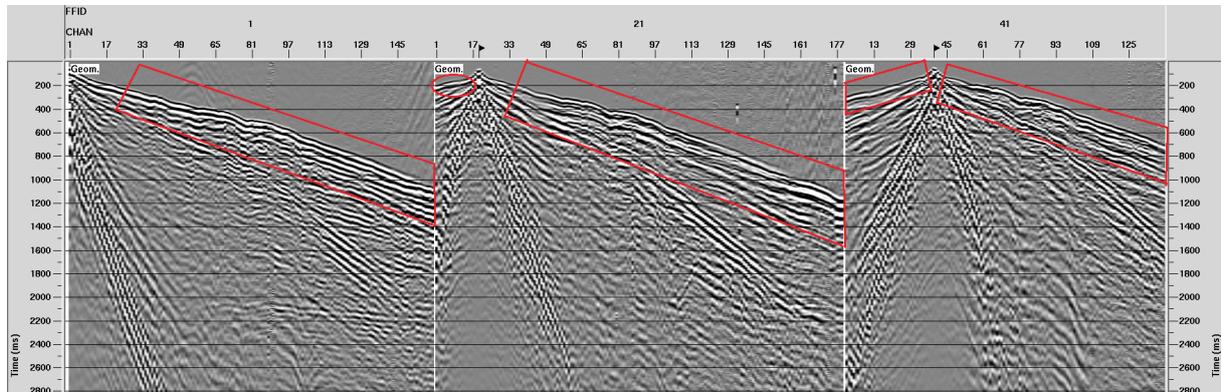


Figura 4.2: Sismogramas com tiros 1, 21 e 41 sem a aplicação da correção estática de campo.

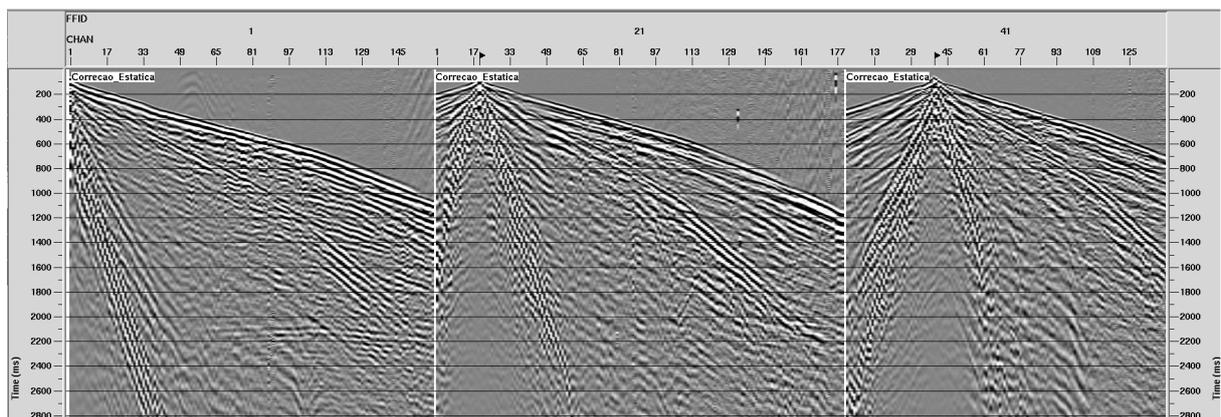


Figura 4.3: Observe o alinhamento do tempo das primeiras quebras após a correção.

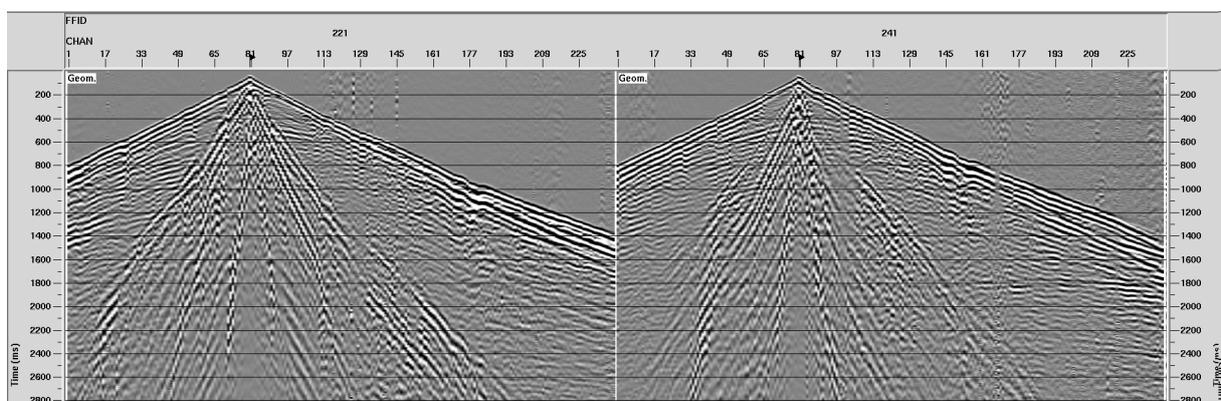


Figura 4.4: Sismogramas com os tiros 221 e 241 antes da aplicação da correção estática de campo.

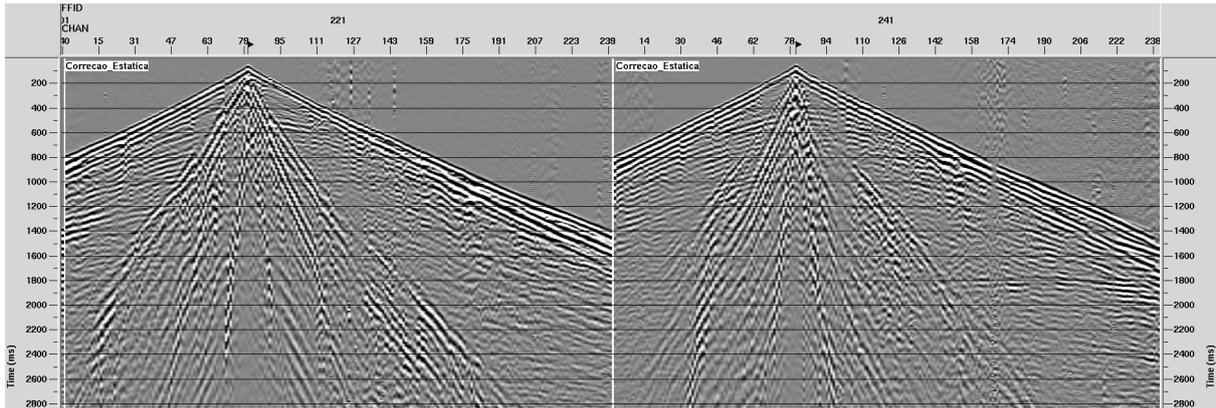


Figura 4.5: Aplicação da correção estática de campo linearizando os tempos de reflexão.

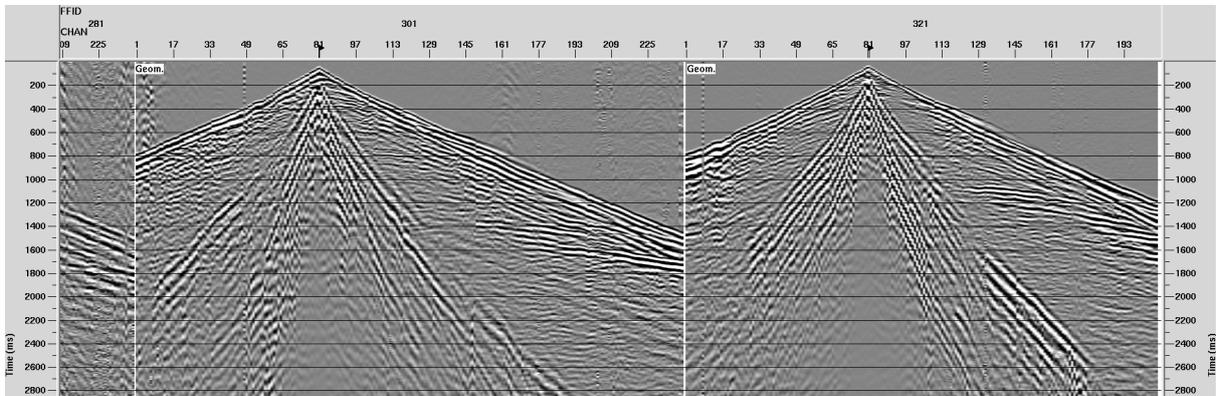


Figura 4.6: Sismogramas antes da aplicação da correção estática, somente com a geometria feita nos tiros 301 e 321.

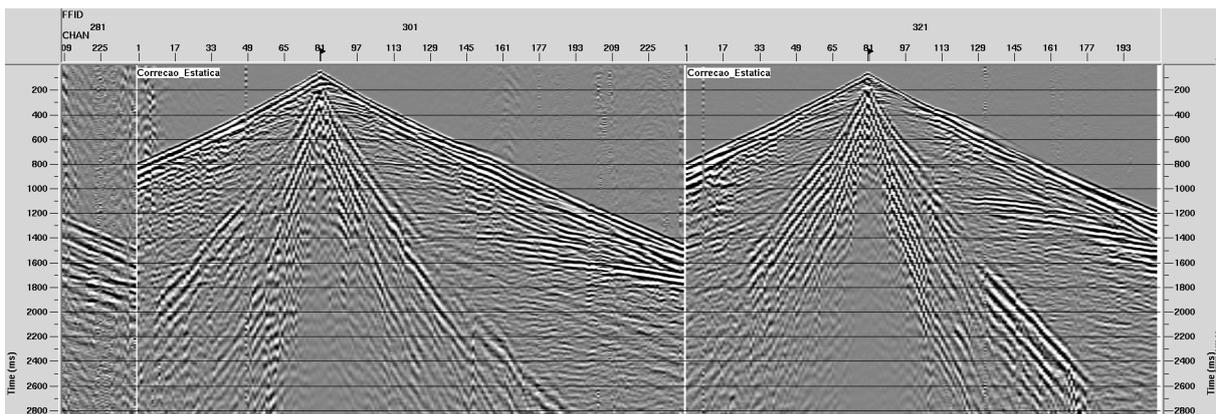


Figura 4.7: Mostrando a aplicação e o efeito da correção estática de campo.

4.1.1 Estática Residual

Pequenos erros das correções de campo podem ser corrigidos durante o processamento sísmico através das chamadas correções estáticas residuais. Logo após a análise de velocidade e a correção de NMO aplicadas já pode-se calcular a estática residual. O objetivo da correção estática residual é obter um melhor alinhamento possível de sinais primários em traços de uma família CMP. Em qualquer trabalho convencional de correções estáticas residuais, considera-se que os traços sísmicos já tenham sido corrigidos do efeito da estática de campo proveniente das variações das elevações e da ZBV para cada tiro e estação de receptor da linha sísmica.

Resumidamente podemos dizer que a função da correção estática residual é corrigir erros não resolvidos somente com a estática de campo. A consistência superficial significa que os resíduos de tempo dependem exclusivamente das localizações das fontes e dos receptores na superfície. São utilizados, horizontes de referência para a aplicação deste processo de modo a melhorar aos resultados. Esses horizontes citados são marcados nos refletores que deseja melhor imagear, observe na figura abaixo um exemplo de definições.

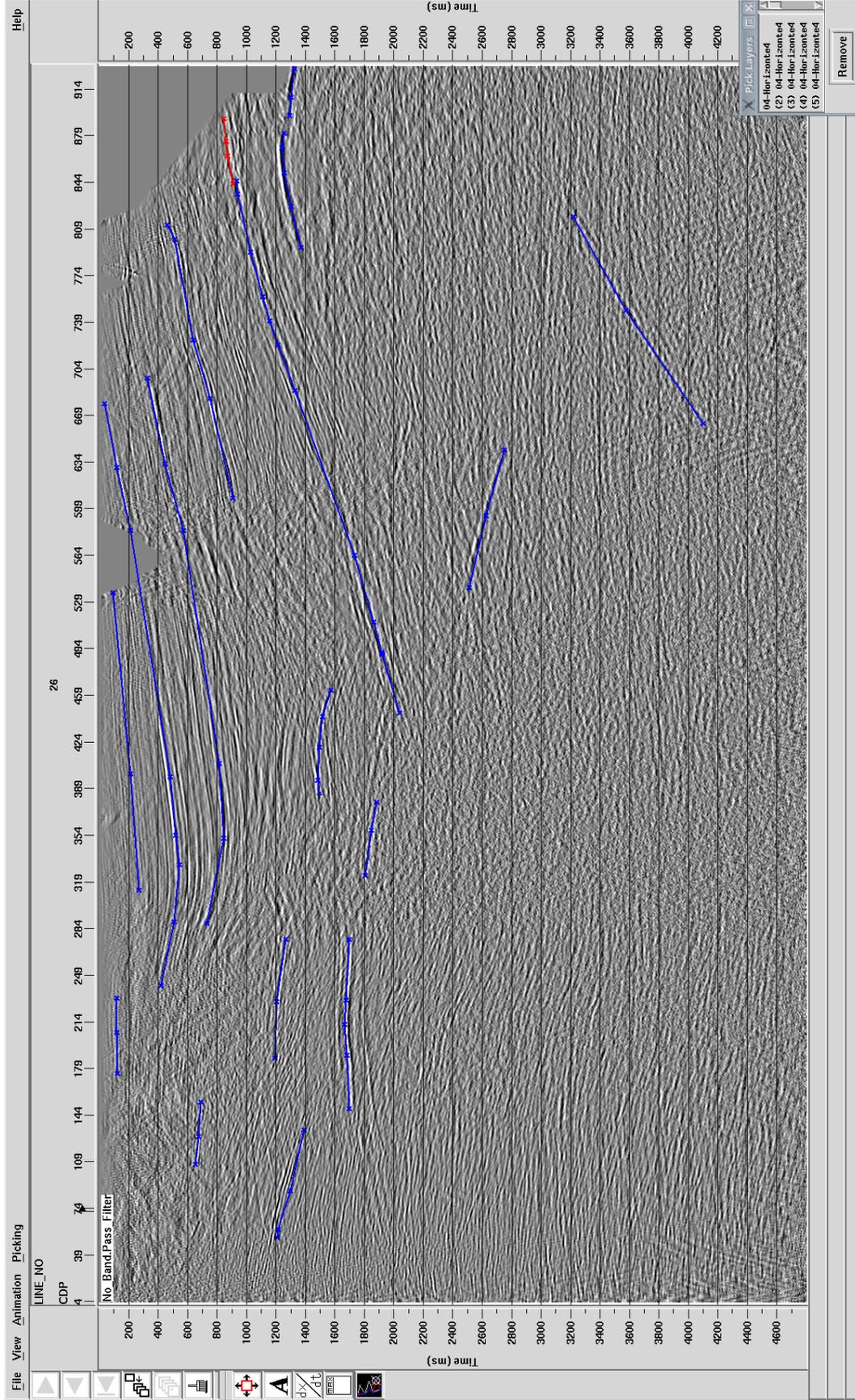


Figura 4.8: Definições dos horizontes escolhidos para o cálculo da estática residual.

Podemos ver na figura abaixo um corte apresentando a comparação sem a aplicação da estática residual e com a aplicação da mesma, para uma região comum. Existem bons programas para o cálculo das correções estáticas residuais, porém obviamente os melhores resultados são obtidos quando as estáticas de campo são de alta precisão.

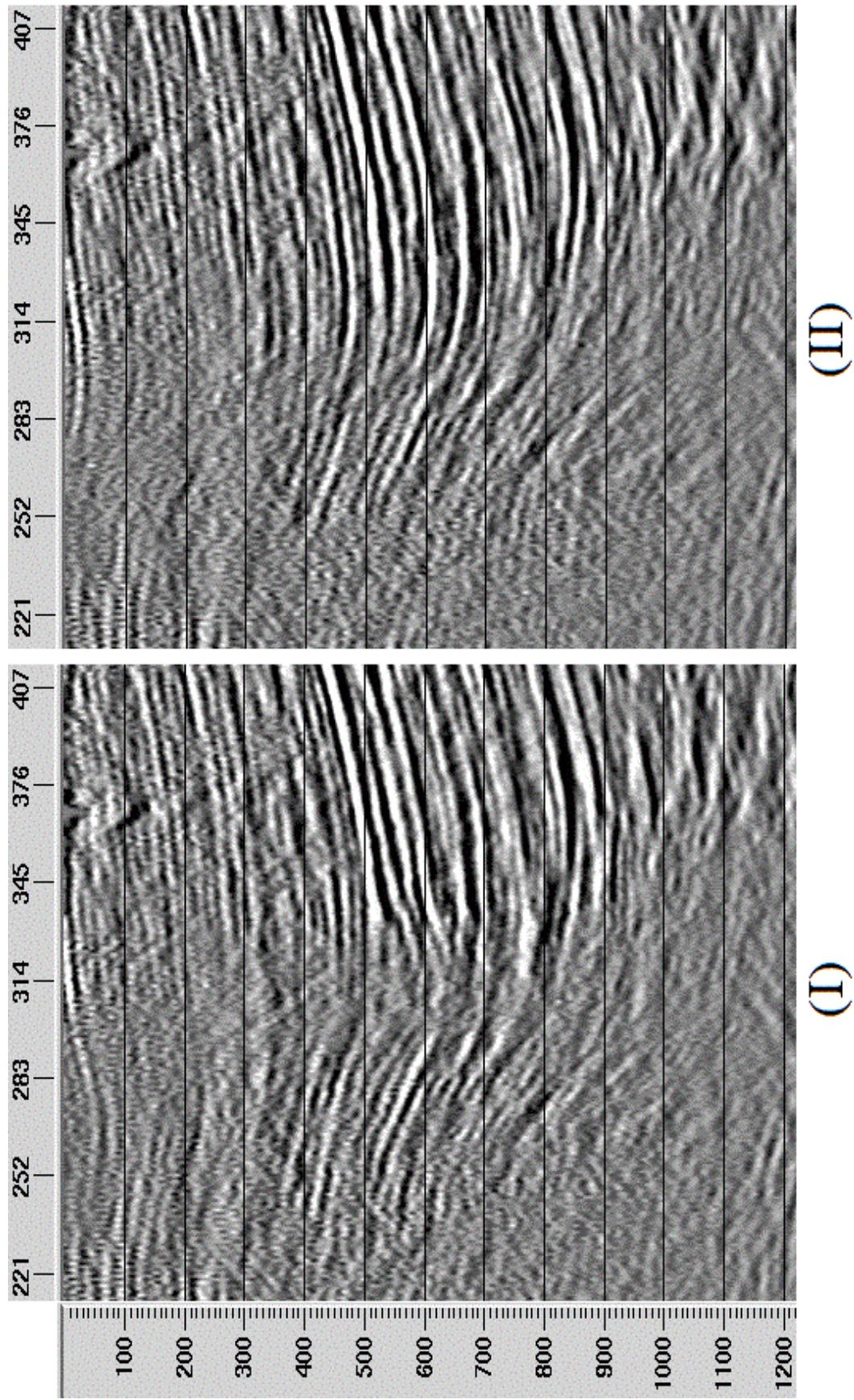


Figura 4.9: Corte de uma mesma região comparando, antes da estática residual em (I) e após sua aplicação em (II).

Podemos concluir que a aplicação da estática residual ressaltou a continuidade do refletor mostrado na figura anterior.

CAPÍTULO 5

Conclusões

O processamento de dados sísmicos é uma etapa de suma importância para a indústria do petróleo, pois um dado sísmico bruto de campo não é capaz de imagear corretamente e claramente a subsuperfície terrestre aplicando apenas uma inversão sem passar por um processamento adequado antes. O processamento realiza edições, manipulações e principalmente correções que a própria aquisição somente não pode, não é capaz ou não é o seu papel de corrigir.

A modelagem feita não apresentou os erros estáticos esperados talvez por não trabalhar bem quando se usa as elevações do header, entretanto os erros apresentados foram suficientes para comprovar a eficácia e a importância das correções estáticas. A presença da ZBV e nem pequenas variações de topografia especificamente não garantem que sempre a correção estática precisará ser usada, e sim apenas quando as variações da topografia são grandes e bruscas ao longo do levantamento sísmico e a espessura da ZBV varie também. Conforme os resultados apresentados o não uso das correções estáticas podem comprometer um investimento feito, visto que ao criar falsos refletores a interpretação das seções serão afetadas e a qualidade da imagem da subsuperfície por consequência também.

Neste trabalho onde foram mostradas as etapas de processamento de uma linha real da Bacia do Recôncavo, é claro e notório a importância da aplicação de etapas como a edição, correções de tempo, correção de amplitude, filtragens, análises de velocidade, empilhamentos e migrações que aproximaram mais das feições geológicas reais onde deixou mais nítida e limpa de ruídos as seções.

Como vimos ao longo deste trabalho a aplicação das correções estáticas é de suma importância para o processamento sísmico de dados terrestres e algumas vezes a correção estática residual também. Pois a primeira a grosso modo como vimos corrige o efeito da topografia e melhora muito o efeito da ZBV para os tempos de trânsito e a segunda, dado a definição do conceito de consistência superficial melhora as definições dos refletores assim como os posiciona mais corretamente melhorando muito assim portanto a qualidade e a confiabilidade da seção para uma melhor definição póstuma de possíveis indicações de estruturas de prospectos. Favorecendo também a interpretação sísmica ao fornecer seções mais realistas.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais que sempre estiverem comigo sempre me estimulando e me apoiando a me tornar uma pessoa melhor e mais capacitada.

Agradeço ao meu orientador Milton José Porsani e ao meu coorientador Manoel Gontijo dos Santos que me ajudaram com a ideia e também na realização deste trabalho. Dois seres humanos incríveis, verdadeiros líderes onde a qualidade deste trabalho não seria a mesma sem o auxílio dos mesmos. Agradeço também a Wilker Souza que me ajudou durante o processamento onde a realização deste seria mais difícil sem o seu auxílio e ajuda. E agradeço aos três por todas as discussões de ideias trocadas durante a concretização deste projeto.

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

Agradeço também ao Geofísico Valdir Andrade Rocha que me ensinou o básico do manejo do *software* utilizado neste trabalho.

Aos profissionais do setor de Processamento Sísmico da UO-BA da Petrobrás. Especialmente a Manoel Gontijo, Valdir Rocha, Washinton, Rodrigo Valois, Jorge, Antônio Edson e ao gerente de processamento sísmico da unidade, Orlando Freitas.

Ao todos os meus amigos e professores do CPGG (LAGEP) que me ajudaram em diversos momentos ao longo da realização deste trabalho em especial a Michelangelo da Silva, Rodrigo Santana, Peterson Nogueira, Marcelo Santana, Anderson Santos, Marcos Bity, Mizael Souza, Wilson Figueiró, Marcos Botelho e Reynam Pestana.

Agradeço também a minha banca examinadora Milton J. Porsani, Manoel Gontijo e Michelangelo da Silva pelas correções que me foram apontadas para melhorar a qualidade deste trabalho.

Agradeço a todos os meus professores ou estudantes da área da geofísica aplicada a sísmica de reflexão que me ajudaram com seus conhecimentos a me aperfeiçoar como Prof. Milton Porsani, Michelangelo da Silva, Marcos Botelho, Wilker Souza e Rafael Manenti. E também a todos os outros professores que passaram pela minha vida desde a alfabetização a graduação, que me ensinaram muito do que sei, me ajudando a crescer e a me aperfeiçoar cada vez mais.

E por último e não menos importante agradeço aos meus amigos e colegas de curso da turma de 2012 e 2013 em especial a Lucas Pedrosa, Erderson Farias, Everaldo Pereira, Leonardo Moreira, Gleizer Ferreira, Artur Benevides, Adevilson Alves, Diego Moraes, Rená Mendes,

Italo Santana, Matheus Câmara e muitos outros pelos bons momentos que passamos juntos durante a graduação.

APÊNDICE A

Tutorial

Tutorial básico sobre Modelagem
Direta utilizando o *Software* de
Processamento *Sísmico*
ProMAX/SeisSpace.

Por Clériston Silva Gama

Tutorial elaborado por Clériston Silva Gama (CPGG/IGEO/UFBA), instruído por Manoel Gontijo dos Santos (PETROBRAS S.A.) e incentivado por Milton José Porsani (CPGG/IGEO/UFBA & INCT-GP/CNPq/MCTI), respectivamente coorientador e orientador do Trabalho Final de Graduação na Universidade Federal da Bahia no ano de 2016, mediante conhecimentos adquiridos durante elaboração do TFG e também de conhecimentos adquiridos durante estágio na empresa Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras (2014) sob a supervisão de Valdir Andrade Rocha (PETROBRAS S.A.) e Iniciação Científica sob a orientação de Milton J. Porsani no ano de 2015 nas áreas de processamento sísmico e modelagem de dados sísmicos. Elaborado principalmente pela interação entre seus mestres unindo os conhecimentos da academia e também da indústria.

Para dúvidas ou sugestões contate : cleriston.gama@gmail.com

INTRODUÇÃO.....	1
PASSO 1 - Criando o Sismograma Sintético Preliminar.....	5
PASSO 2 - Criando o Campo de Velocidades de entrada	10
PASSO 3 - Processo de Suavização de Horizontes	25
PASSO 4 - Gerando o Sismograma Sintético pelo Método das Diferenças Finitas	27

INTRODUÇÃO

Tutorial criado para ajudar na criação de modelos sintéticos no pacote de *softwares* de processamento sísmico *ProMAX/SeisSpace*. Autoexplicativo possibilita o entendimento tanto para usuários inexperientes quanto mais experientes com o *software*. Aqui nos atermos apenas a modelagem em si, então se o usuário não souber como fazer processos como a geometria será necessário que entenda e aprenda como fazer, pois, é passo vital para este exemplo de modelagem. Este manual está com uma linguagem muito simples é autoexplicativo de maneira que qualquer leigo tanto em processamento e modelagem ou um usuário sem nenhuma experiência com o *software* possa operá-lo exceto a parte da criação da geometria que aqui não será detalhada, mas vale ressaltar que é importante que antes de começar a modelagem saber conceitos muito básicos como a diferença da modelagem inversa e direta bem como processamento de dados sísmicos em si e etc. Lembrando que qualquer dúvida sobre os parâmetros ou coisas específicas da parametrização dos módulos deverá ser consultada no *help* do próprio *SeisSpace/Promax* indo no fluxo selecionado com o módulo ativo e clicando no botão F1, você ativa o *help*, então é só consultá-lo. Outras informações de como operar o *software* poderão ser consultadas no manual do mesmo de versões anteriores ou procurar um usuário já experiente no manejo do próprio.

Passo 1 Como criar o sismograma preliminar que servirá como entrada para a geração do sintético final. O tipo de modelagem executada utiliza o método por diferenças finitas se não tiver domínio do se trata é aconselhável que se tenha uma ideia básica antes de iniciar a modelagem. Para fazer o tipo de modelagem que será ensinada é necessário que antes você tenha um sismograma qualquer com a geometria já definida e depois disso modelar e/ou criar/editar um campo de velocidade com os horizontes, estruturas e velocidades das camadas a escolha e por último gerar o seu sismograma sintético final pelo método das diferenças finitas. Em outras palavras é necessário um sismograma preliminar qualquer com a uma geometria já escolhida para a definição do campo de velocidades já que a entrada para o mesmo são os números de CDPs logo é preciso que a geometria já esteja definida para esta etapa.

Para criação então da etapa do sismograma preliminar abra o *SeisSpace*, depois de criar o Projeto, Subprojeto e etc. Crie um fluxo normal intitulado Sismograma Sintético ou qualquer nome que você preferir/desejar, lembrando de evitar caracteres especiais como palavras com acento agudo, circunflexo, til. C com cedilha e etc para os nomes de seus fluxos, tabelas, *datasets* e etc.

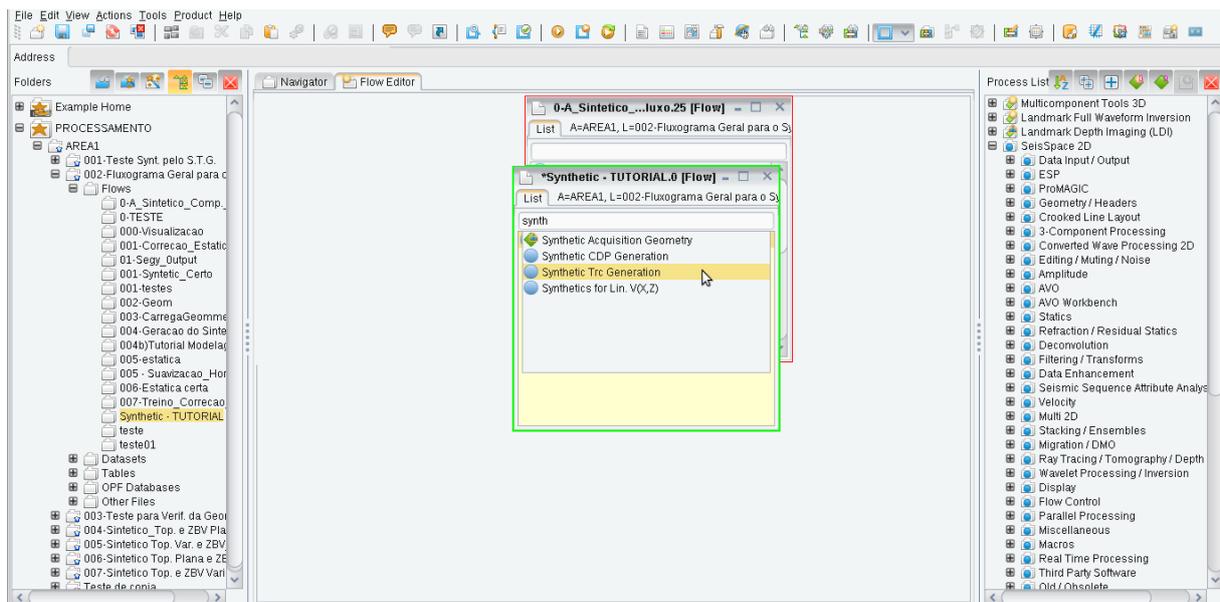


Figura A.1: Figura1: Mostrando o módulo para construção do sismograma sintético preliminar.

Pesquise nesse fluxo aberto o módulo *Synthetic Trc Generation* como mostra a Figura 1. Selecione este módulo clique com botão 2 do *mouse* (botão central) para configurar, conforme a Figura 2, e preencha as informações a escolha. A configuração do tipo de *wavelet* é a escolha, e no presente caso foi utilizado *default* (padrão) esta parte, ou seja, como estava, outra coisa que pode ser deixada default é a fase da *wavelet* e também os eventos sísmicos na parte de *Define ORMSBY Synthetic Seismic Events*, já que isso será feito depois utilizando

outros módulos. O resto você deverá mudar a escolha.

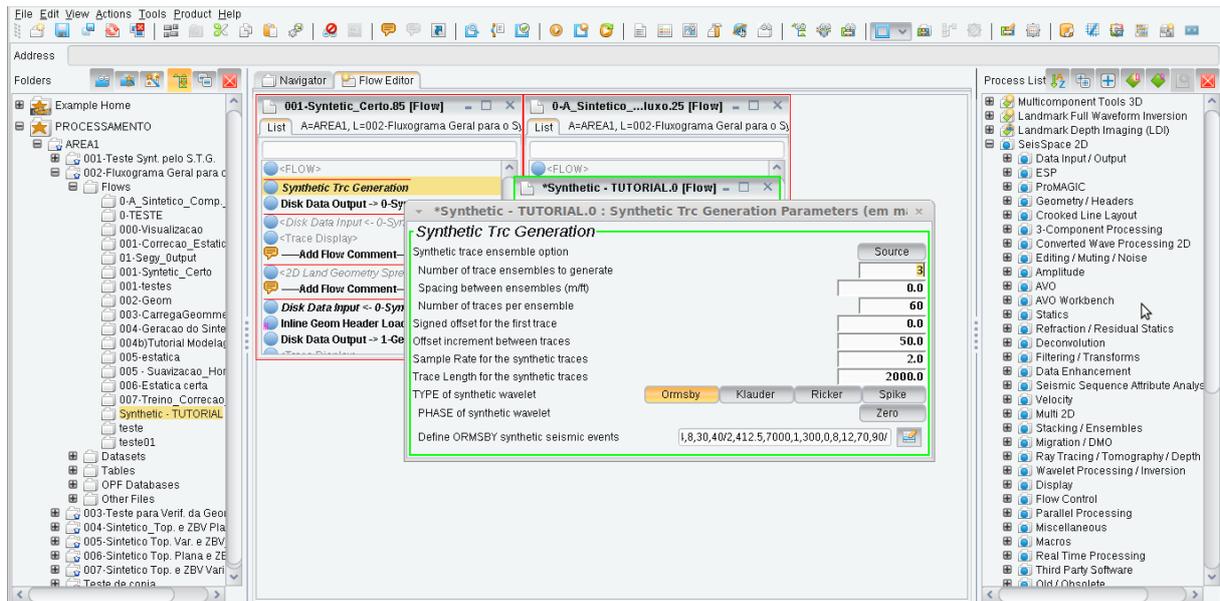


Figura A.2: Figura 2: Parametrização do Módulo de Geração do Sismograma Sintético Preliminar.

Ou seja, depois da parametrização "*TYPE of synthetic wavelet*" não é necessário mudar nada a depender do que você deseja fazer e a última parametrização não é necessário fazer, pois a fará quando tiver editando o campo de velocidade e criará os eventos sísmicos a escolha e etc.

Depois de configurar este módulo insira um nome para *dataset* a ser criado como forma de saída com o módulo "*Disk data Output*", (ddo). Pronto, agora com o botão 2 abra este módulo e depois na parte de "*Output Dataset Filename*" clique em *Invalid*, em seguida clique com o botão direito e clique em "*New ProMAX Dataset*". Dê um nome para este *dataset* de saída e depois *click* em *Ok*. Feche essa janela do (Ddo). Pronto, com os dois módulos ativos verifique se os dois estão negritos de acordo com a Figura 3 se não estiverem clique com o botão direito em cima de cada um deles para ativá-los. Coloque esses dois para executar ("rodar"/ "correr") clicando no botão central marcado com um triângulo dentro de um círculo se você colocar o mouse em cima deste botão aparecerá como diálogo "*Submit on this machine*" ou ainda pode ser usado a opção *Ctrl* (no teclado do computador) + botão do lado, o "*Submit using default submit parameters*". Ou ainda os dois modos podem funcionar separadamente a depender da parametrização do *software* na máquina. Veja o detalhe em vermelho marcado na Figura 3.

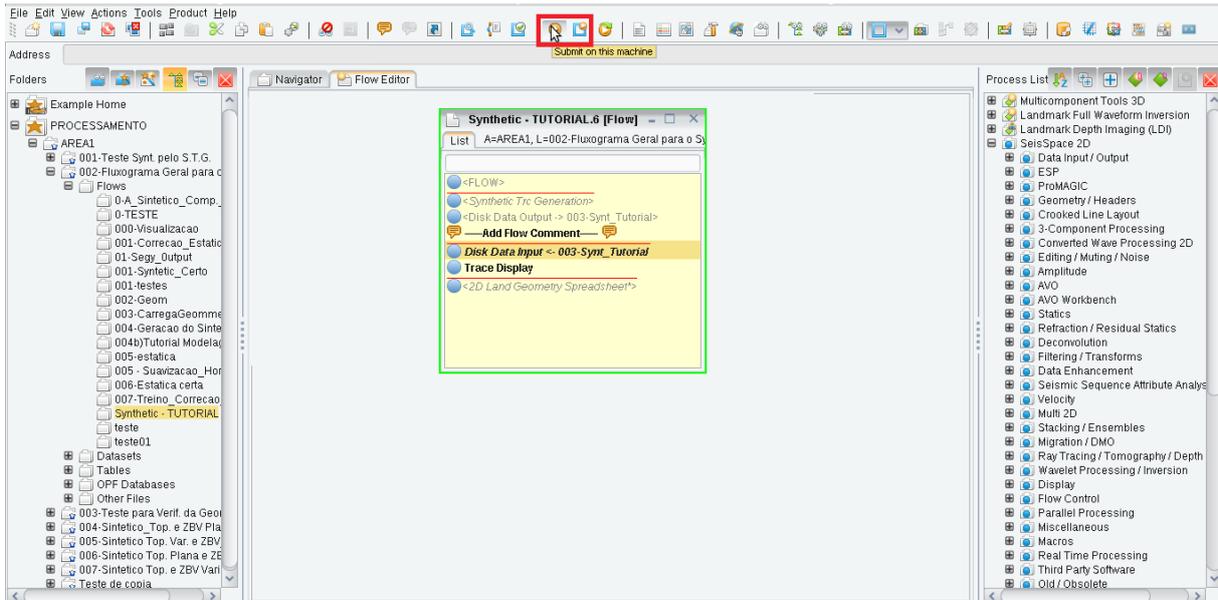


Figura A.3: Figura 3: Mostrando as opções de como rodar um fluxo a depender da parametrização do *software* na máquina.

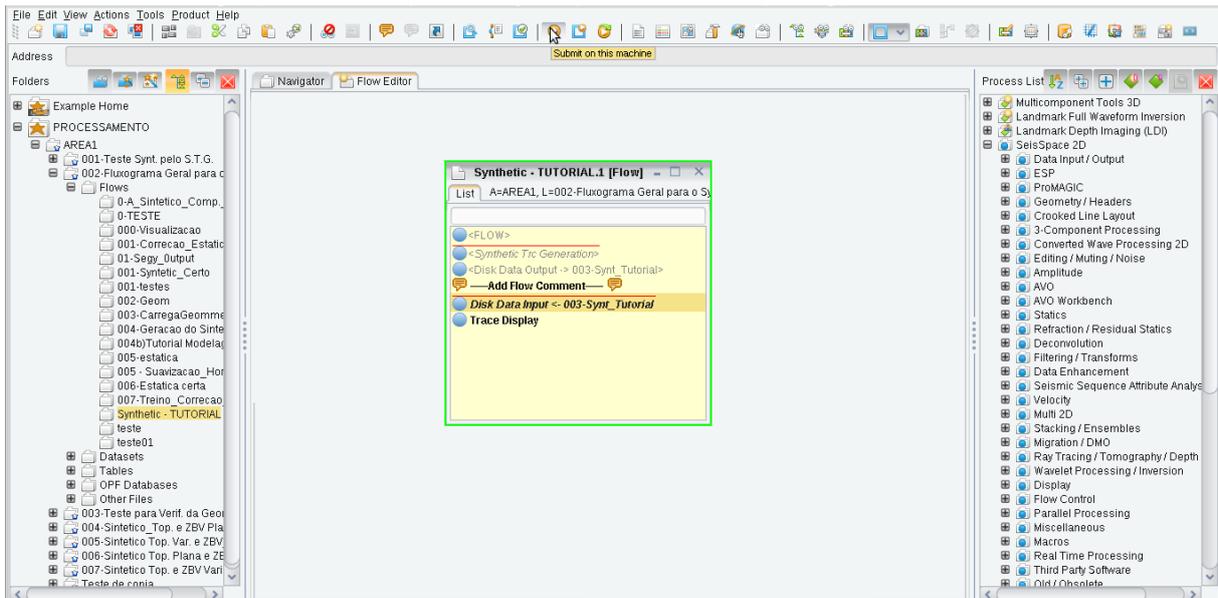


Figura A.4: Figura 4. Passo para a visualização do dado sintético preliminar.

No mesmo fluxo caso deseje visualizar este sismograma criado desative os módulos anteriores e adicione o ***Disk Data Input*** clique com o botão direito e em seguida em "***Select dataset***" do lado direito em "***Invalid***" clique e selecione como entrada o Dataset anteriormente criado. Feche essa Janela e ainda no mesmo *Flow*, coloque um ***Trace Display*** não precisa mexer em nada. Com esses 2 módulos ativos e outros 2 desativados coloque para rodar segundo a Figura 4. Ao final quando este fluxo rodar aparecerá como saída uma nova janela

cinza semelhante à Figura 5. A depender da configuração que você escolheu para o sintético criado.

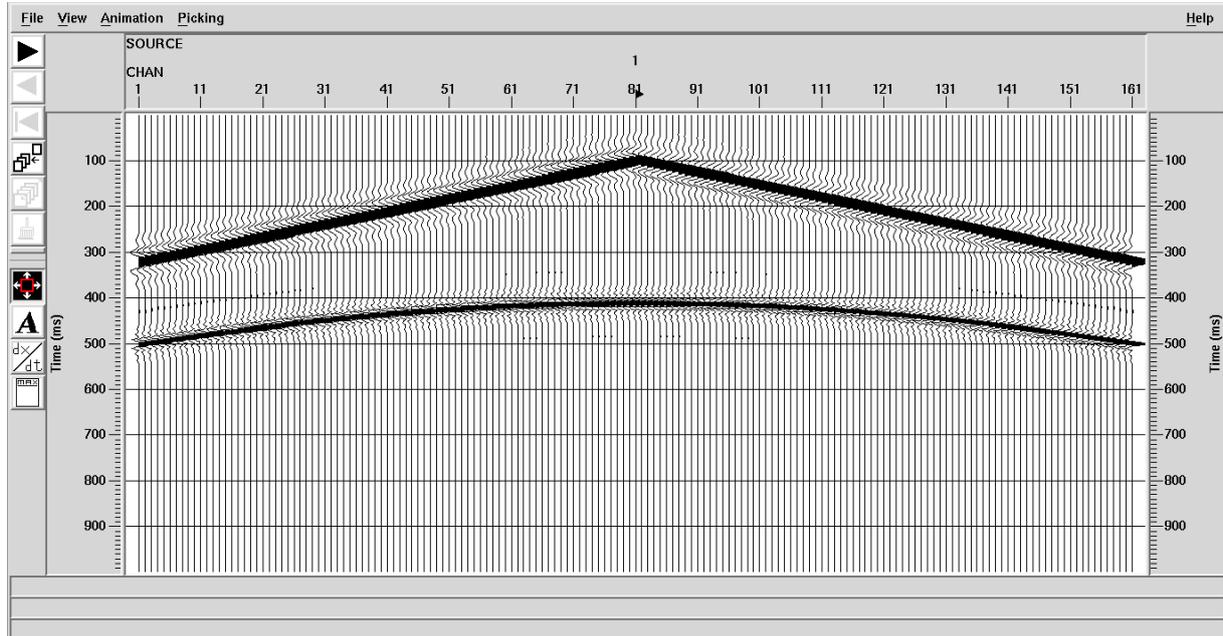


Figura A.5: Figura 5. Visualização do Sismograma Sintético Preliminar na opção de *Wiggle Trace*.

Pronto agora vamos fazer a geometria do seu sismograma sintético e carregá-la. Usando o módulo *2D Land Geometry Spreadsheet*, desative os outros módulos e então depois de adicionar este coloque-o para rodar. Quando tiver rodado/executado este módulo aparecerá uma nova janela pequena branca e com letras destacadas em azul semelhante a Figura 6.

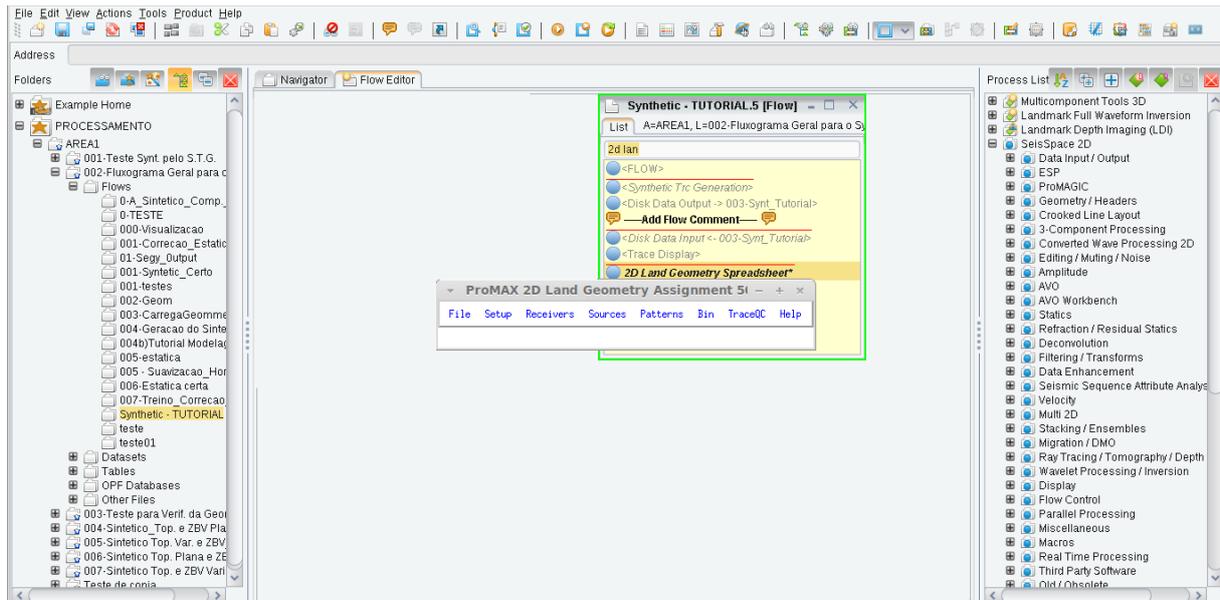


Figura A.6: Figura 6: Módulo para se fazer a geometria para o Sintético Preliminar.

Preencha todas as tabelas de geometria referentes ao arranjo, receptores, fonte, padrão e por último faça a binagem. Utilizando as caixas de "Setup", "Receivers", "Sources", "Patterns" e por último "Bin" respectivamente. Para isso indico ler o help e também o tutorial do *software* deixando o módulo ativo e pressionando com a janela de fluxo em seleção indo em F1 ou a depender do modo de configuração do teclado de sua máquina use (Fn+F1). Pronto após feito a geometria é necessário carregá-la no *Database* e você fará isso utilizando o módulo *Inline Geom Header Load*. Abra uma nova janela de fluxo e adicione os módulos *Disk Data Input* (Ddi), *Inline Geom Header Load* e *Disk Data Output*. Como *dataset* de entrada no Ddi coloque o sintético que foi criado para entrada. Em "*Inline Geom Header Load*" deixe *default* (padrão). Em "*Disk Data Output*" crie um novo "*dataset*" de saída. Coloque este fluxo para executar. Pronto o seu dado sintético preliminar já está pronto para entrada no módulo posterior.

Passo 2.

Inicialmente montar o fluxo de processamento com os módulos: *Volume Viewer/Editor** *Velocity Viewer/Point Editor** *Volume Viewer/Editor** Conforme a Figura 7 abaixo.

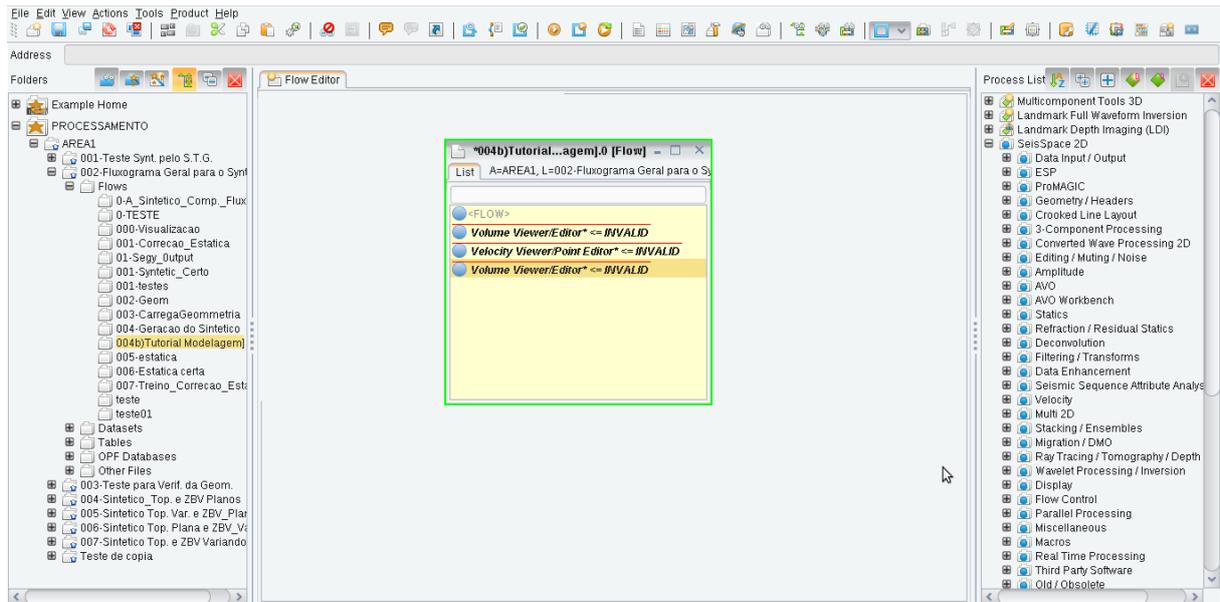


Figura A.7: Figura 7: Fluxo para geração do campo de velocidades.

Vamos primeiramente criar um modelo de velocidade para um CDP apenas e em seguida replicar este modelo de velocidade para todos os CDPs. O módulo *Volume Viewer/Editor** deve ser parametrizado da maneira explicitada na Figura 8, coloque os números do CDP mínimo e máximo nos espaços pedidos, que vai depender da geometria do seu modelo, e após fazer essa parametrização clique na opção de "Select input volume" na caixa onde está escrito "INVALID" (Figura 8 lado esquerdo) e aparecerá todas as tabelas que você tem de velocidade caso você tenha alguma, ou então nenhuma. Em seguida quando já estiver na opção de "navigator" (navegador) equivalente a Figura 9, clique com o botão direito do mouse e depois selecione a opção "New Promax Table", para criar a nova tabela, após esta etapa dê um nome para sua tabela de velocidade, a opção "Type" (Tipo) deverá estar com a opção de seleção VID (*Interval Velocity in Depth*). Verifique a Figura 10. Após esta etapa clique em *ok*.

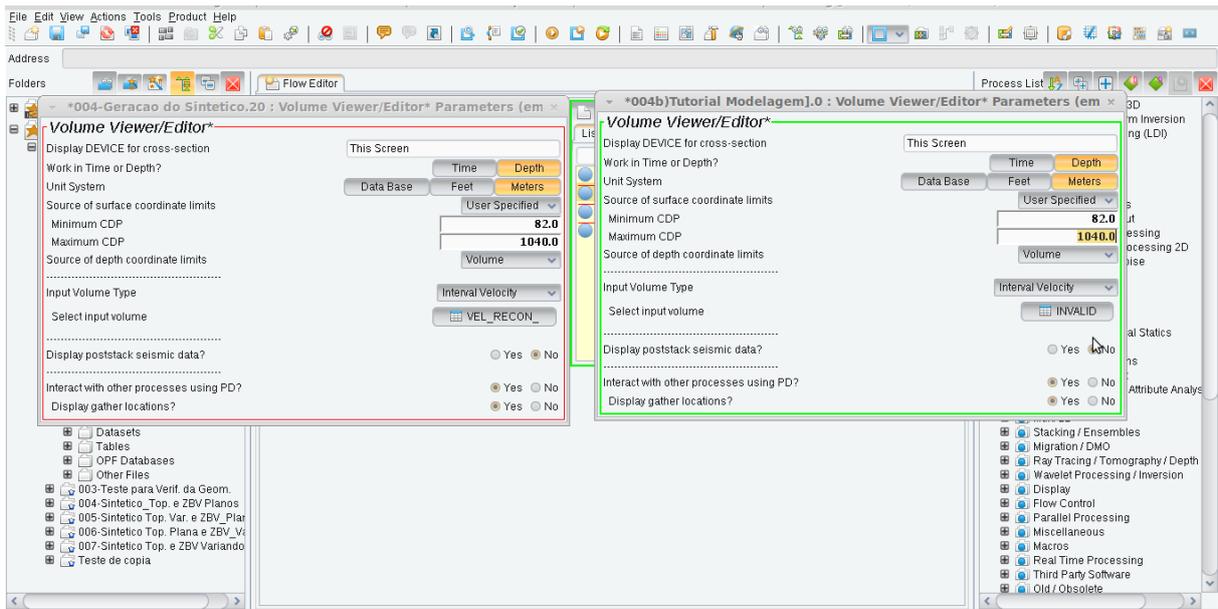


Figura A.8: Figura 8: Parametrização de um dos módulos.

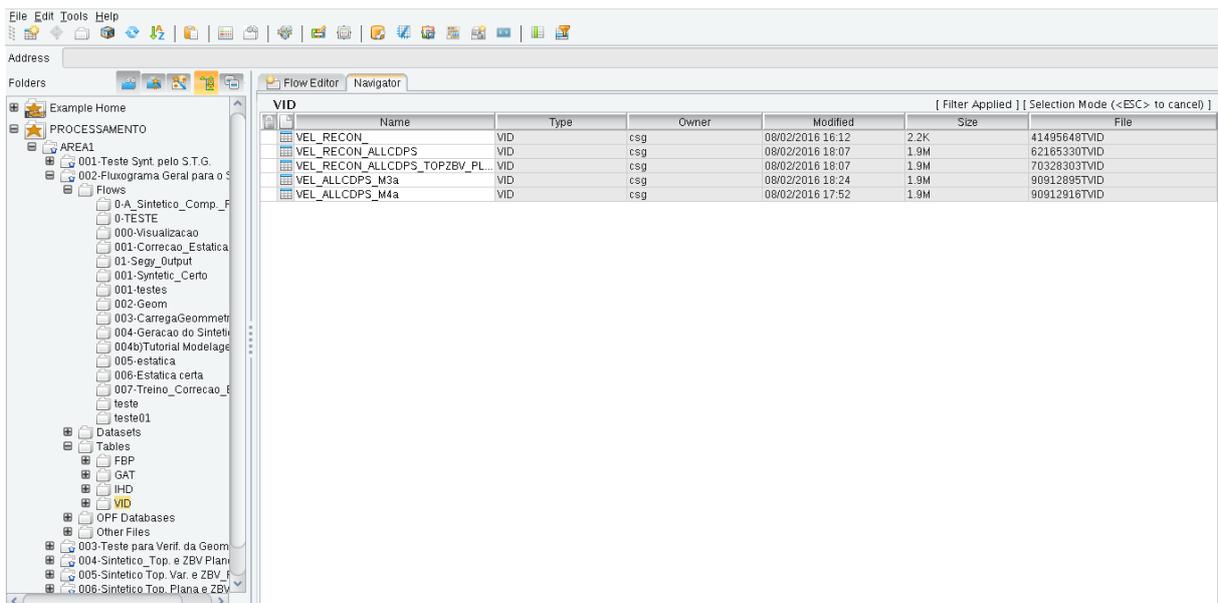


Figura A.9: Figura 9: Criando a tabela/campo de velocidade.

Desative os outros dois módulos por enquanto e permaneça apenas com o 1º módulo ativado, observe que a entrada de sua tabela criada aparecerá neste módulo que por esta ativado estará em negrito, segundo a Figura 11. Após esta etapa coloque o módulo (*Volume Viewer/Editor**) para rodar, lembrando que os outros deverão estar desativados é claro.

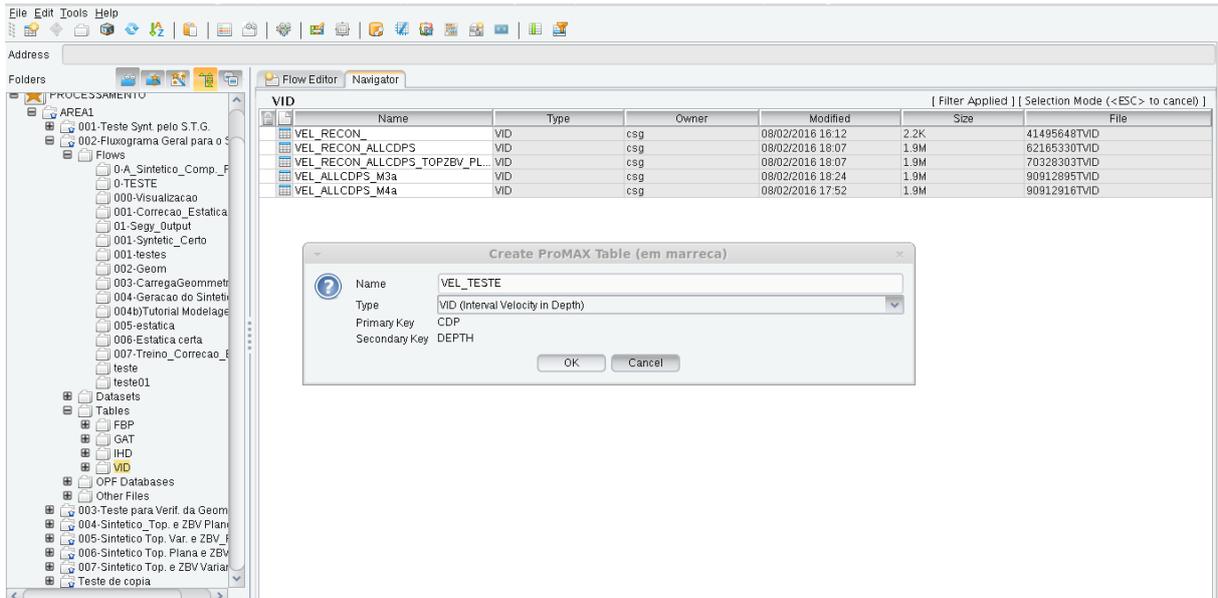


Figura A.10: Figura 10: Tipo escolhido para tabela de velocidade.

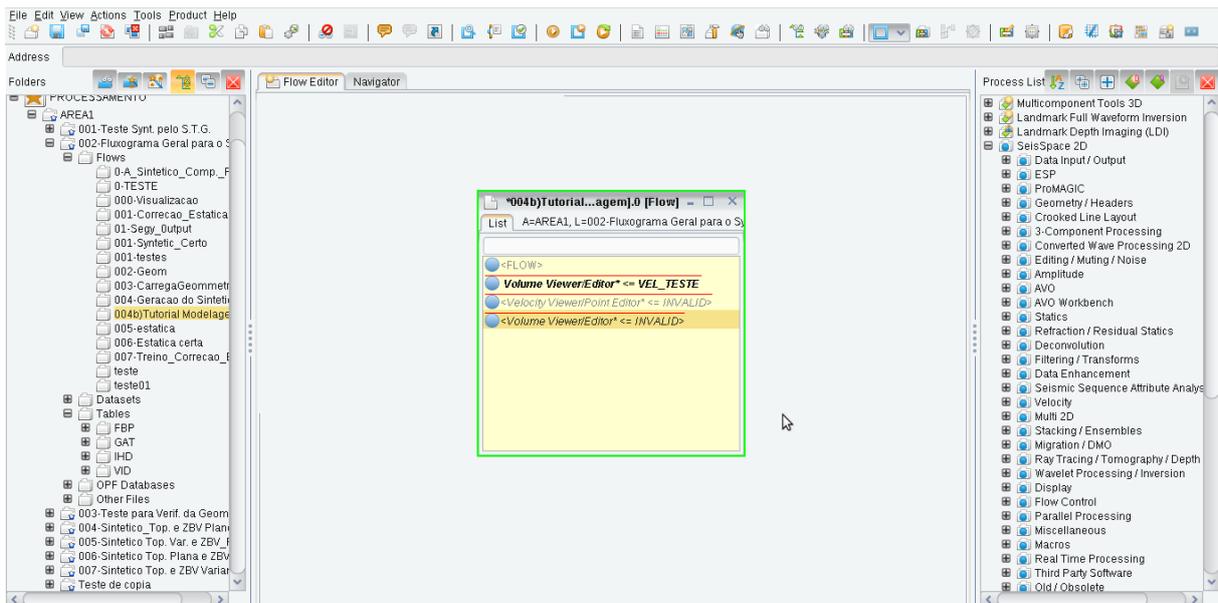


Figura A.11: Figura 11: Mostrando a ativação apenas do primeiro módulo.

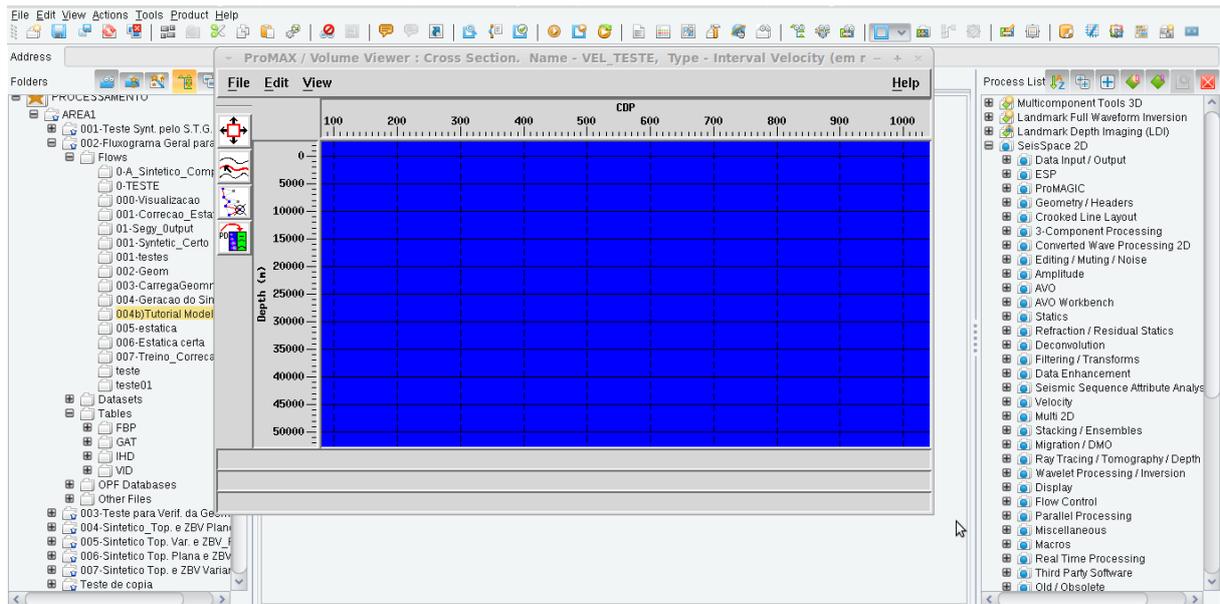


Figura A.12: Figura 12. *Display* do campo de velocidade (CDP x *Depth*).

Vai aparecer um *display* de CDP x *Depth* (m) [(Profundidade)] semelhante a Figura 12, pode fechar esse *display*, em seguida no lado esquerdo do *ProMAX/SeisSpace* onde aparece projetos/subprojetos/fluxos, no subprojeto que você está procure por *TABLES* (tabelas) depois clique no sinal de "+" irá abrir todas as tabelas feitas e as siglas de cada uma delas por exemplo FBP, GAT, IHD, VID e etc, na parte que tem VID clique no símbolo de "+" aparecerá então todas as tabelas desta categoria, de acordo com a Figura 13, agora vá no nome que você deu para sua tabela criada e clique com o botão esquerdo em cima da tabela e depois vá na opção de "*Edit using ProTab*" ou apenas "*Edit*" a depender da versão que você estiver usando do *software*. Abrirá uma janela para você poder colocar as informações, procure um botão abaixo da opção de "*HELP*" ou abaixo da opção de "*PREFERENCES*" do lado esquerdo, ou ainda simplesmente passe a seta do *mouse* em cima das opções abaixo de "*File*", "*Edit*" e etc e procure pela opção que descreve ou é descrita como: "*Insert New Node Above Mark*", para você poder inserir o número de linhas necessárias, ver Figura 14. Ao clicar nessa opção aparecerá uma janela e nela você deverá colocar/inserir o número de linhas que deseja para modelagem. Ao colocar este número selecione *ok*. Pronto após este passo aparecerá 5 colunas preenchidas além do "*Row*", serão elas: X Coord, Y Coord, CDP, DEPTH, VEL_INT. Segundo a Figura 15.

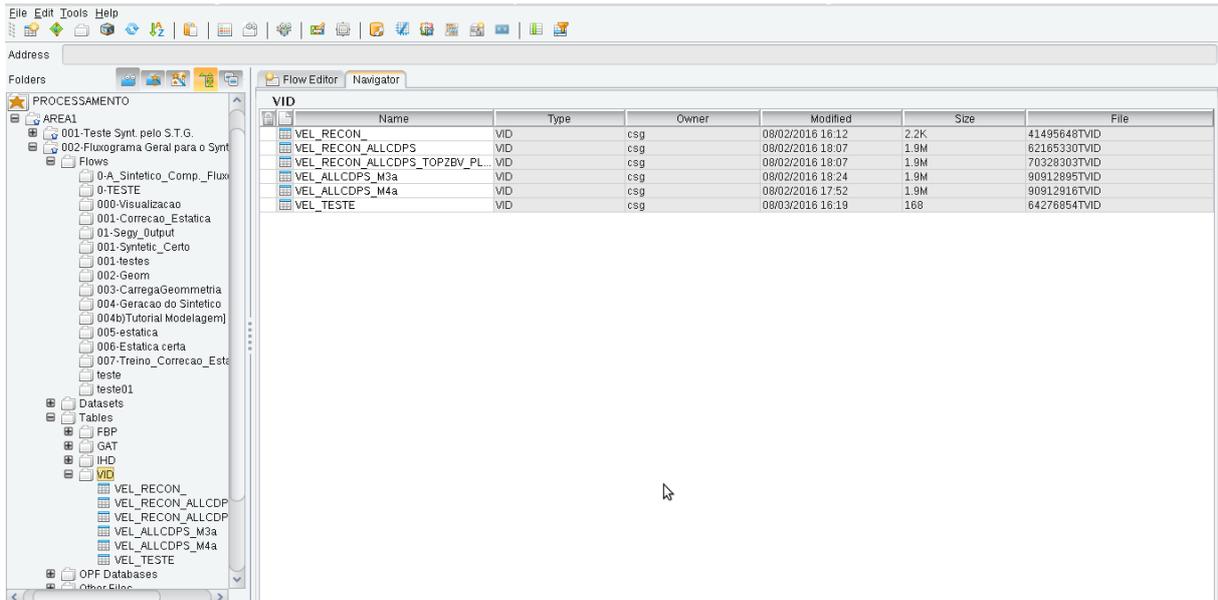


Figura A.13: Figura 13: Tabelas de campo já feitas.

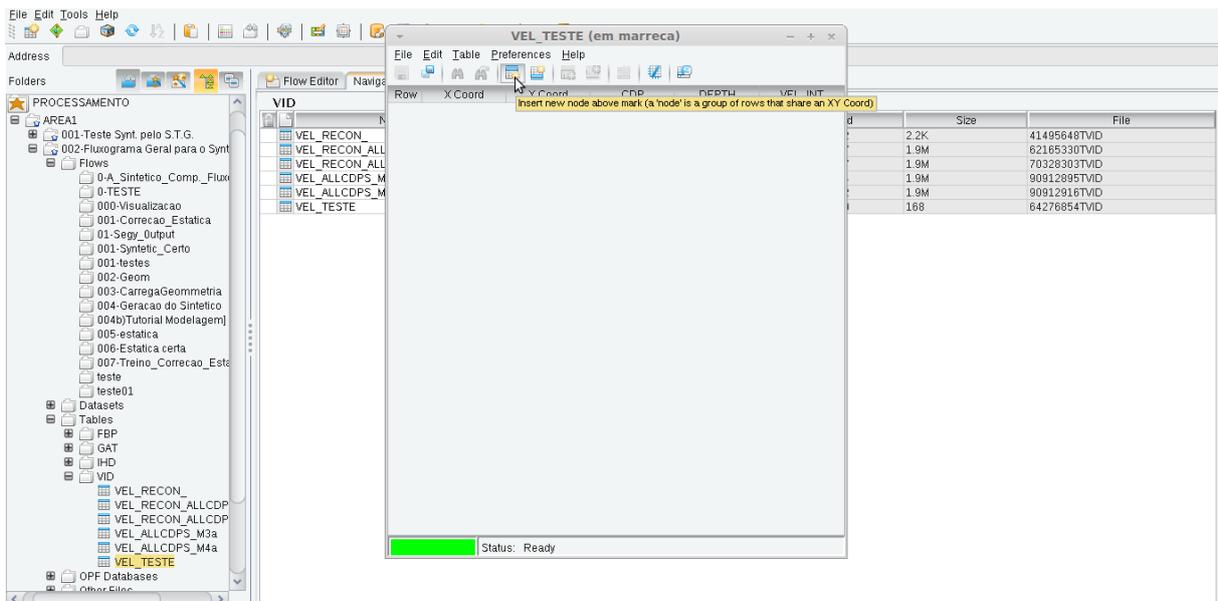


Figura A.14: Figura 14: Botão para inserção do número de linhas para a edição.

Row	X Coord	Y Coord	CDP	DEPTH	VEL_INT
1	0	0	-1	-999.0	-999.0
2	0	0	-1	-999.0	-999.0
3	0	0	-1	-999.0	-999.0
4	0	0	-1	-999.0	-999.0
5	0	0	-1	-999.0	-999.0
6	0	0	-1	-999.0	-999.0
7	0	0	-1	-999.0	-999.0
8	0	0	-1	-999.0	-999.0
9	0	0	-1	-999.0	-999.0
10	0	0	-1	-999.0	-999.0
11	0	0	-1	-999.0	-999.0
12	0	0	-1	-999.0	-999.0
13	0	0	-1	-999.0	-999.0
14	0	0	-1	-999.0	-999.0
15	0	0	-1	-999.0	-999.0
16	0	0	-1	-999.0	-999.0
17	0	0	-1	-999.0	-999.0
18	0	0	-1	-999.0	-999.0
19	0	0	-1	-999.0	-999.0
20	0	0	-1	-999.0	-999.0
21	0	0	-1	-999.0	-999.0
22	0	0	-1	-999.0	-999.0
23	0	0	-1	-999.0	-999.0
24	0	0	-1	-999.0	-999.0
25	0	0	-1	-999.0	-999.0
26	0	0	-1	-999.0	-999.0
27	0	0	-1	-999.0	-999.0
28	0	0	-1	-999.0	-999.0
29	0	0	-1	-999.0	-999.0
30	0	0	-1	-999.0	-999.0

Figura A.15: Figura 15: Tabela preenchida mostrando todas as colunas.

Vamos iniciar o preenchimento da coluna da profundidade (*depth*), então primeiramente clique em cima do nome "*DEPTH*", para que toda a coluna esteja selecionada observe que o contador das colunas (ROW) estará por consequência marcado também, veja a Figura 16.

Row	X Coord	Y Coord	CDP	DEPTH	VEL_INT
1	0	0	-1	-999.0	-999.0
2	0	0	-1	-999.0	-999.0
3	0	0	-1	-999.0	-999.0
4	0	0	-1	-999.0	-999.0
5	0	0	-1	-999.0	-999.0
6	0	0	-1	-999.0	-999.0
7	0	0	-1	-999.0	-999.0
8	0	0	-1	-999.0	-999.0
9	0	0	-1	-999.0	-999.0
10	0	0	-1	-999.0	-999.0
11	0	0	-1	-999.0	-999.0
12	0	0	-1	-999.0	-999.0
13	0	0	-1	-999.0	-999.0
14	0	0	-1	-999.0	-999.0
15	0	0	-1	-999.0	-999.0
16	0	0	-1	-999.0	-999.0
17	0	0	-1	-999.0	-999.0
18	0	0	-1	-999.0	-999.0
19	0	0	-1	-999.0	-999.0
20	0	0	-1	-999.0	-999.0
21	0	0	-1	-999.0	-999.0
22	0	0	-1	-999.0	-999.0
23	0	0	-1	-999.0	-999.0
24	0	0	-1	-999.0	-999.0
25	0	0	-1	-999.0	-999.0
26	0	0	-1	-999.0	-999.0
27	0	0	-1	-999.0	-999.0
28	0	0	-1	-999.0	-999.0
29	0	0	-1	-999.0	-999.0
30	0	0	-1	-999.0	-999.0

Row	X Coord	Y Coord	CDP	DEPTH	VEL_INT
1	0	0	0	0.0	2600.0
2	0	0	0	4.0	2602.4
3	0	0	0	8.0	2604.8
4	0	0	0	12.0	2607.2
5	0	0	0	16.0	2609.6
6	0	0	0	20.0	2612.0
7	0	0	0	24.0	2614.4
8	0	0	0	28.0	2616.8
9	0	0	0	32.0	2619.2
10	0	0	0	36.0	2621.6
11	0	0	0	40.0	2624.0
12	0	0	0	44.0	2626.4
13	0	0	0	48.0	2628.8
14	0	0	0	52.0	2631.2
15	0	0	0	56.0	2633.6
16	0	0	0	60.0	2636.0
17	0	0	0	64.0	2638.4
18	0	0	0	68.0	2640.8
19	0	0	0	72.0	2643.2
20	0	0	0	76.0	2645.6
21	0	0	0	80.0	2648.0
22	0	0	0	84.0	2650.4
23	0	0	0	88.0	2652.8
24	0	0	0	92.0	2655.2
25	0	0	0	96.0	2657.6
26	0	0	0	100.0	2660.0
27	0	0	0	104.0	2662.4
28	0	0	0	108.0	2664.8
29	0	0	0	112.0	2667.2
30	0	0	0	116.0	2669.6
31	0	0	0	120.0	2672.0
32	0	0	0	124.0	2674.4
33	0	0	0	128.0	2676.8
34	0	0	0	132.0	2679.2
35	0	0	0	136.0	2681.6
36	0	0	0	140.0	2684.0
37	0	0	0	144.0	2686.4

Figura A.16: Figura 16: Passos para o preenchimento da coluna de profundidade.

Pronto então, após selecionada a tabela de "*DEPTH*", vá na opção superior de "*edit*" clique, depois vá em "*Fill*" e clique também, depois abrirá uma pequena janela denominada "*Fill*"

parameters", preencha com seu valor de profundidade em "*Start Value*". E em "*incremente*"(incremento) coloque o valor que será incrementado ao seu valor inicial de velocidade. Depois vá à opção de *ok*.

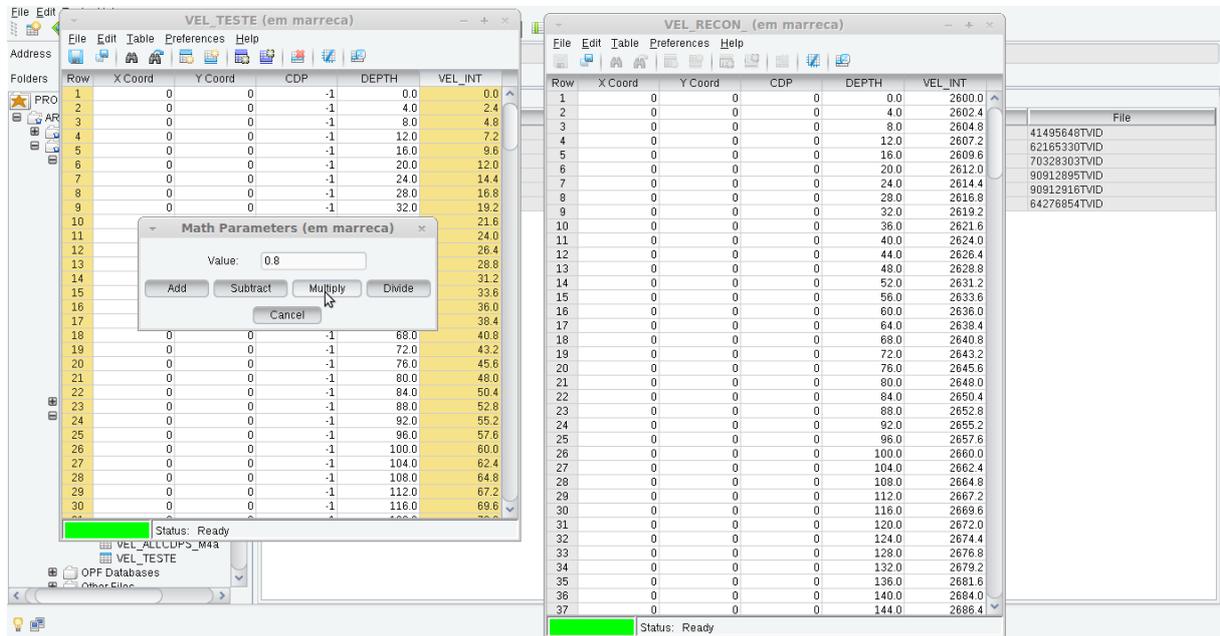


Figura A.17: Figura 17. Parâmetros de operação para manipulação da tabela.

Agora vamos editar a coluna da VEL_INT (Velocidade intervalar), da mesma maneira que a anterior selecione ou clique em cima do parâmetro VEL_INT, depois vá em "*Edit*" → "*Fill*" e coloque os mesmo parâmetros da "*DEPTH*" caso precise ou então no caso de precisar usar uma equação utilize a função de "*math*" lá em "*edit*", no meu caso eu usei uma função que depende da profundidade então preenchi a coluna com os valores da profundidade primeiramente, depois fui na opção de "*Edit*" → "*Math*" e coloquei os parâmetros por exemplo: se você precisa multiplicar coloque o valor que precisa ser multiplicado e depois em "*math*" clique na opção de "*multiply*" análogo ao que pode ser visto na Figura 17. Caso precise somar com algum valor, coloque o valor na opção de "*Value*" nos parâmetros do "*Math*" e depois clique em "*Add*" e assim sucessivamente, então é só seguir este raciocínio. Agora na coluna do CDP a selecione e depois vá a *Edit* "*Fill*" e preencha tanto o "*Start Value*" como o "*incremente*" como 0 para parametrizar para o CDP de número 0, é claro. Depois vá em *File* → *Resolve* depois aparecerá uma janela escolha a opção "*Resolve X and Y from CDP*". Geralmente este estará selecionado, depois clique em *ok*. Por final clique em "*File*" novamente e "*Save*" para poder salvar tudo o que foi feito. Feche a janela agora.

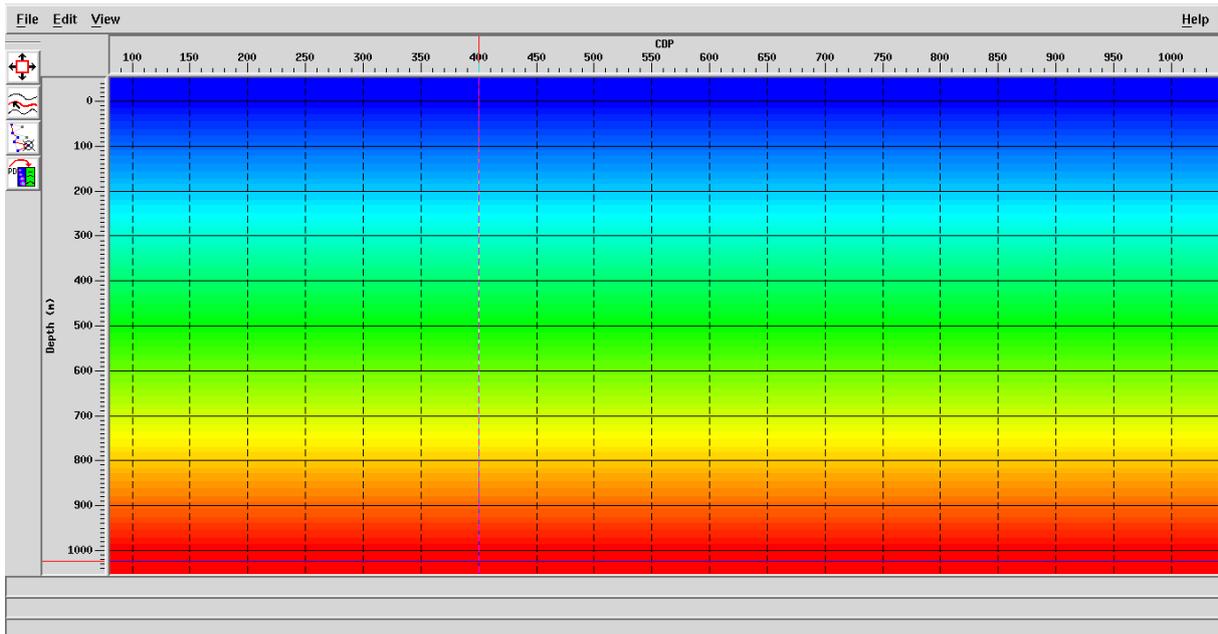


Figura A.18: Figura 18: Campo de Velocidade.

Após este passo por garantia rode novamente o modelo de *Volume Viewer/Editor** e agora aparecerá um *display* com a tabela de velocidades que você acabou de fazer ou de editar, de acordo com a Figura 18. Pronto este modelo criado está apenas para um CDP, vamos então agora replicá-lo, para todos os CDPs. Para isso desative o módulo *Volume Viewer/Editor** e ative o módulo *Velocity Viewer/Point Editor**.

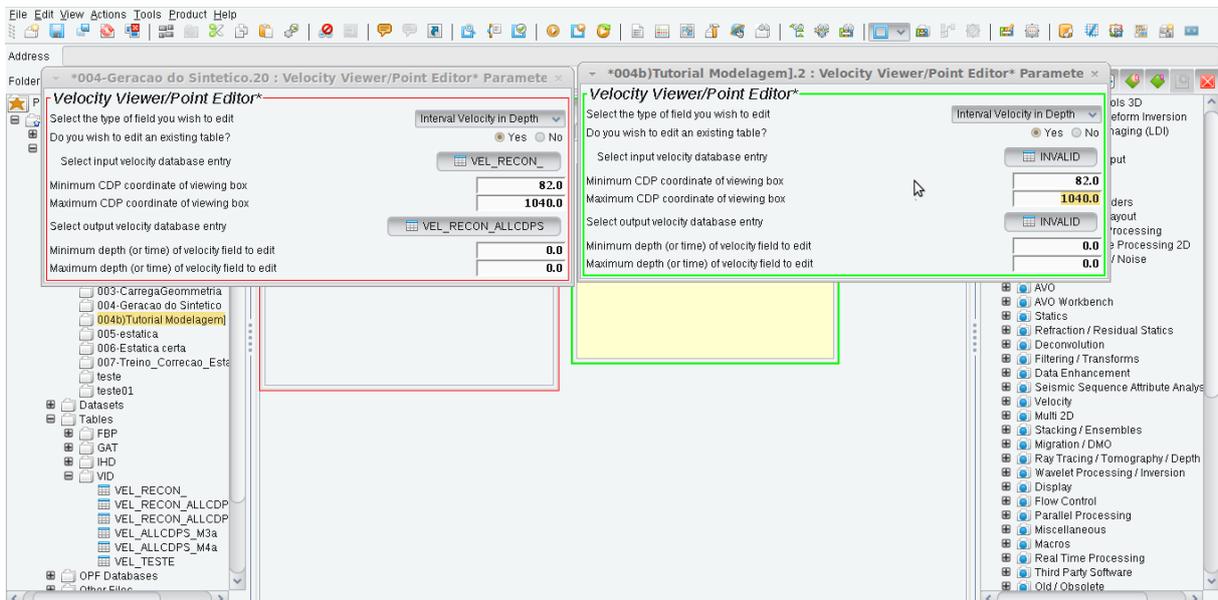


Figura A.19: Figura 19: Parametrização do módulo *Velocity Viewer/Point Editor*.

E parametrize este módulo da seguinte maneira conforme Figura 19. E onde se tem

"*Select input velocity database entry*" clique onde está "*INVALID*" e selecione a tabela que criamos para um CDP apenas (CDP "0"). Já na opção de "*Select output velocity database entry*" clique em "*Invalid*" e crie um nome para essa saída, na área do "*navigator*" clique com o botão direito e depois vá em "*New Promax Table*". E simplesmente dê um nome para esta tabela de velocidade para saída. Coloque alguma coisa como *Vel_all_CDPs*, para que você não se perca por exemplo. Agora é só rodar o módulo ***Velocity Viewer/Point Editor***. E aparecerá simplesmente o seu campo conforme Figura 20.

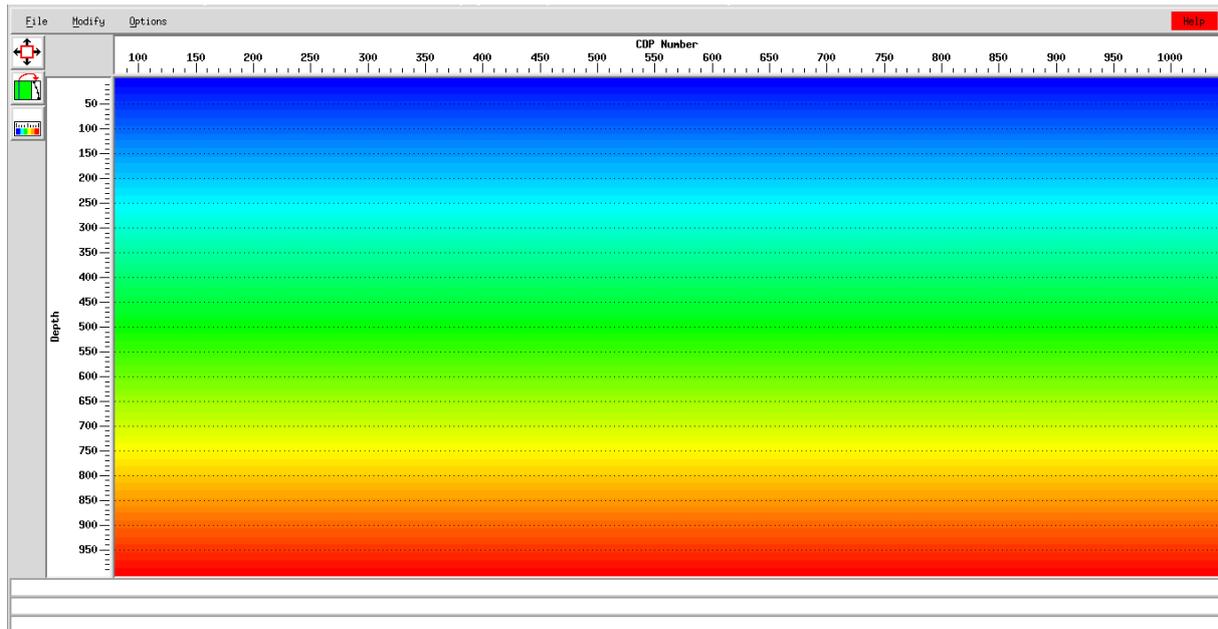


Figura A.20: Figura 20. Campo que será replicado para todos os CDPs.

Pode sair deste display indo em *File* "*Save table to disk and exit*". Após feito isso coloque para rodar novamente o módulo *Velocity Viewer/Point Editor** e quando este aberto vá no canto superior a esquerda e vá na opção de *Modify* "*Smooth Velocity Field*". Pronto feito isso abrirá uma nova janela de opção de valores, preencha essa tabela da maneira como desejar. No meu caso em "*NEW CDP SAMPLING INTERVAL*" (Novo intervalo simples de CDP) coloquei 1, para se fazer a modelagem de CDP em CDP para todos os CDPs. Em "*New Depth Sampling Interval*" coloquei de 4 em 4 metros, você pode colocar o intervalo que desejar. Nos próximos campos "*CDP Smoothing Operator Length*" e "*Depth Smoothing Operator Length*" que seriam os comprimentos dos operadores de suavização associados ao CDP e a profundidade, coloquei no meu caso como 0 para não se ter suavização, mas pode ser definido qualquer valor a escolha. Verifique a Figura 21. Clique em *Ok*, e em seguida vá na opção de "*SAVE TABLE TO DISK AND EXIT*", (Salvar a tabela no disco e sair).

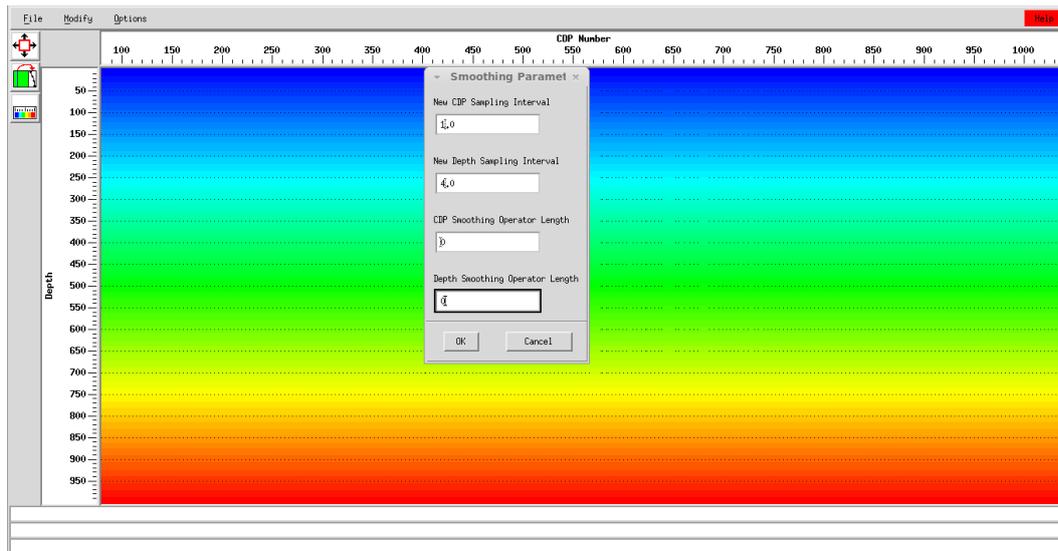


Figura A.21: Figura 21. Parametrização para replicar a velocidade a todos os CDPs.

Agora desative este módulo e ative o próximo módulo novamente *Volume Viewer/Editor**. E parametrize da seguinte maneira equivalente Figura 19. E na opção de "*Select input volume*" clique em "*Invalid*" e selecione a tabela que você acabou de criar no módulo anterior "*alguma_coisa_all_CDPs*" por exemplo. Rode este módulo agora o *Volume Viewer/Editor** com a entrada de *all CDPs*.

Pronto você já tem esse campo para todos os CDPs com o gradiente de velocidade caso você tenha optado pelo mesmo ou não. Veja a Figura 22. Você pode forçar o módulo a mostrar apenas a profundidade que você deseja fazendo:

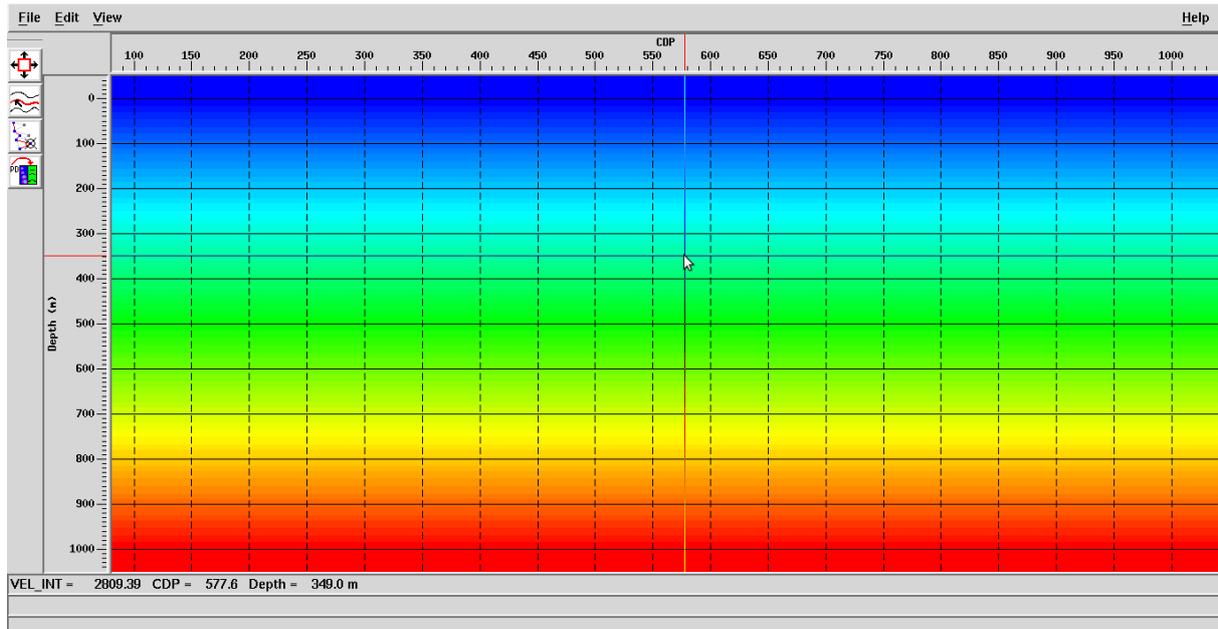


Figura A.22: Figura 22.Campo de velocidade editado final.

Quando abrir o módulo "*Volume Viewer/Editor*" na parte que "diz": "*SOURCE OF DEPTH COORDINATE LIMITS*" clique a frente onde estará as opções de seleção "*VOLUME*" ou "*SEISMIC DATA*" clique e selecione a opção de "*USER SPECIFIED*". Aparecerá então "*Minimum time /depth coordinate*" e "*Maximum time/depth coordinate*" para ser selecionado os valores de entrada. Coloque então o intervalo que você quer que apareça no campo de velocidade, o valor mínimo e máximo para a profundidade. Pois no padrão os valores de profundidade começam do negativo em diante e etc.

Agora vamos para a definição dos refletores, ou melhor, diga-se de passagem, o que é chamado aqui no módulo de horizontes. Depois de feito isso quando abrir o *display* de velocidade, vá na opção de horizontes, como segue. Para criar um horizonte a escolha vá na opção de "*File*" → "*New*" → "*Horizon*", abrirá uma janela para um nome ser dado ao horizonte (refletor) um nome pode ser definido a escolha. Sugestão: Coloque de preferência um nome para este refletor a uma profundidade definida. Por exemplo, refletor 1. Profundidade 20 m e etc.

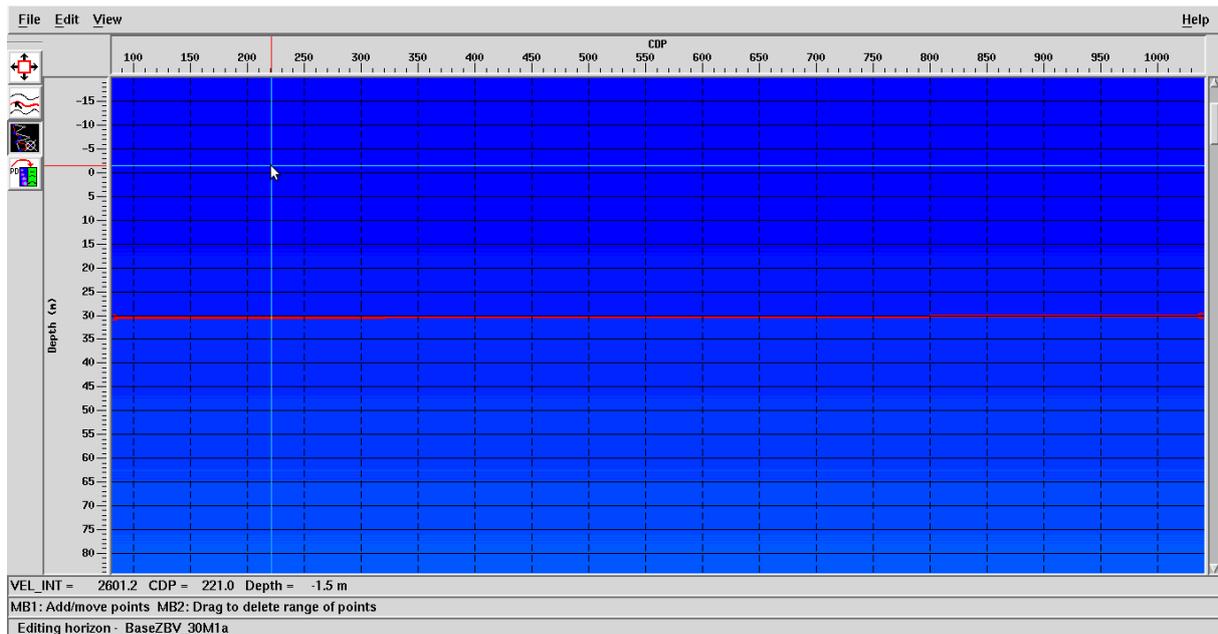


Figura A.23: Figura 23. Mostrando a marcação da 3ª caixa ou botão de seleção a esquerda em negrito.

Após isso vá em *Ok*. Depois de feito isso clique na 3ª caixa/botão, na parte superior esquerda, que está marcado em negrito. Semelhante a Figura 23 se o intervalo de definição para o seu horizonte tiver difícil de ser marcado com a escala que se apresenta na tela, então selecione o zoom para aproximar ao valor escolhido e melhor se fazer a definição é a primeira caixa/botão do canto superior a esquerda de cima para baixo. Clique no botão e depois faça a definição do *zoom* conforme desejar. Não se preocupe com nenhuma precisão exagerada, pois essa tabela do horizonte pode ser editada em seguida, posteriormente. Para fazer a marcação clique com o botão esquerdo nos pontos que deseja simular o início e fim do horizonte, se quiser marque apenas o ponto inicial e final. Após essa marcação/definição clique novamente na parte superior esquerda em "*File*" → "*Save*" → "*Active Horizon*". Para salvar o seu horizonte ativo. Feche o *display* em "*File*" → "*Exit*" para editarmos ou se editar e/ou corrigir o horizonte na definição e precisão dos pontos.

Quando voltar para a tela inicial do *Promax/SeisSpace* na parte esquerda onde fica os projetos/subprojetos/Fluxos/Tabelas e etc.

Vá na opção de "*Tables*" clique no símbolo de "+" aparecerá todas as pastas de diferentes tabelas procure pela pasta IDH dentro de "*tables*" e clique no símbolo de +, aparecerá então a tabela que você acabou de criar, com o nome exato que você atribuiu. Evite dar espaços nos nomes ou qualquer caractere não usual tipo ç ou e etc.. Clique no nome da tabela com o botão direito que estará obviamente com o nome que foi dado ao horizonte quando criado e em seguida vá em "*Edit Using ProTab*", pronto abrirá uma nova janela que poderá ser editada como a criação da tabela de velocidades no primeiro módulo usado o ***Volume***

Viewer/Editor*. Para fazer a edição dos pontos do horizonte a ser definido clique no valor da Profundidade e corrija caso não esteja exatamente no valor desejado quando marcados manualmente, após isso verifique os valores do CDP e altere para o valor do primeiro e do seu último CDP, lembrando que este pode não começar do 1, vai depender de como você organizou a sua geometria e etc. Após editar esses dois valores de CDP e profundidade (*DEPTH*). Clique em "File" → "Resolve" aparecerá uma nova janela, geralmente perguntando qual o tipo de chave para se resolver. E então escolha a chave e/ou opção de "*Resolve X and Y from CDP*", geralmente esta já estará selecionada, clique então em *Ok*. Observe que logo após isso a "X Coord" e/ou "Y Coord" sofrerá alteração. Agora clique no símbolo ou então vá em "File" → "Save" para salvar.

Seu horizonte já estará corrigido. Para visualizá-lo selecione o módulo **Volume Viewer/Editor*** ative-o e em seguida vá em File "Open" → "*Horizons*". Aparecerá o nome do horizonte que fora criado, clique no horizonte e depois clique em *Ok*. E o horizonte será marcado no *display*. Para criar outro horizonte e editá-lo o passo é similar. Só um lembrete é que depois de ir em File "*New Horizon*" certifique-se de que o botão 3, ou a 3ª caixa abaixo do *File* estará ativada para se fazer a marcação, não esqueça de salvar o horizonte também logo após sua marcação e em seguida editá-lo para correção devida e só depois fazer um novo horizonte, é claro, ou seja, fazer um horizonte por vez por garantia.

Após definir todos os seus horizontes vamos fazer a modelagem mediante com esses limites, só lembrando que os limites do topo e da base do modelo não precisam ser definidos por horizontes já serão demarcados pela célula própria respeitando os limites estabelecidos por você.

Primeiramente abra seus horizontes para determinar o gradiente de velocidade escolhido por você. Vá em "File" → "Open" → "*Horizon*", selecione um horizonte clique em *Ok*, selecione o seguinte e clique em *Ok*. No seu *display* aparecerá seus horizontes. Pronto agora para se determinar o gradiente de velocidade em função de seus horizontes escolhidos por você vá em *Edit "Paint Volume"*. Aparecerá a seguinte janela como na Figura 24.

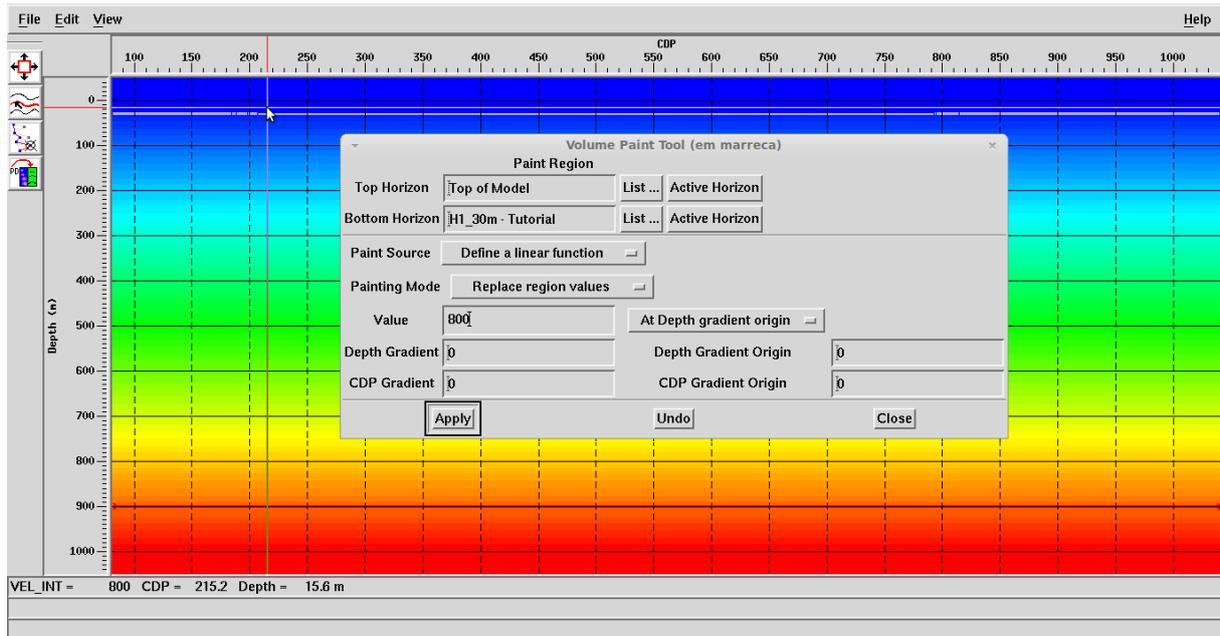


Figura A.24: Figura 24. Janela para inserção dos parâmetros do seu modelo final.

Para cada interface coloque o horizonte do topo e da base clicando em "List..." Lembrando que as opções de "Top of Model" e "Bottom of Model" já são os próprios limites da célula do modelo. Depois coloque o valor de velocidade em m/s no campo "Value" e caso queira colocar um gradiente para este valor adicionado em conformidade a profundidade clique em Depth Gradiente e coloque o valor que deverá ser acrescentado proporcionalmente a variação profundidade. Após isso clique em *Apply* para aplicar. Mude o "Top Horizon" para o horizonte base que usou anteriormente e coloque o novo horizonte base. Faça isso até que o seu último horizonte seja o "Top Horizon" e então em "Bottom horizon" em *List* você escolherá o "Bottom of Model". Após feito isso vá em "File" → "Save As" → "Active Volume". Dê um nome para esse Volume e depois clique em *Ok*. Ao fazer isso note que mudou o padrão de cor a depender de sua variação de velocidade de acordo com o modelo.

Veja a Figura 25. Clique agora em "Save" → "Active Volume" e por último "File" → "Exit".

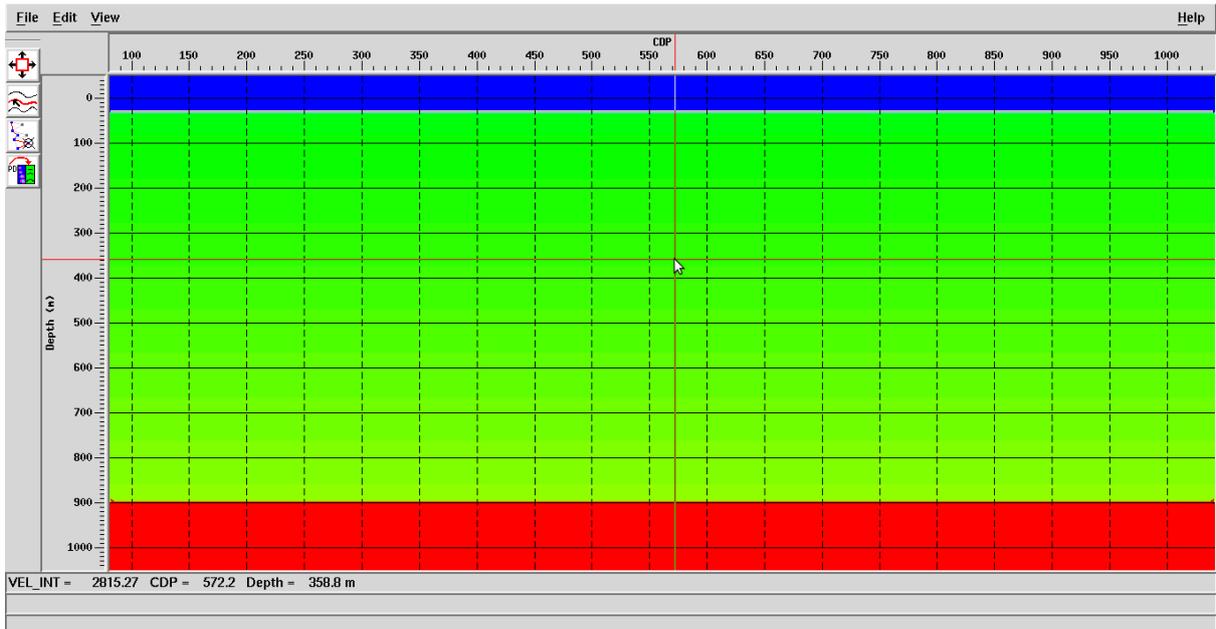


Figura A.25: Figura 25. Campo de velocidade após inserção dos parâmetros.

Passo 3.

Caso um horizonte seja definido e esta definição estiver com pontos de variações muito abruptos, pode-se suavizar um ou mais horizontes. Como o campo de velocidade já foi criado agora vamos ver como suavizar um horizonte. Para este fim abra um novo fluxo (*Flow*) dê um nome para ele e em seguida procure pelo módulo "*Horizon Manipulation*" clique o botão do meio no *mouse* para abri-lo aparecerá uma janela semelhante à Figura 26.

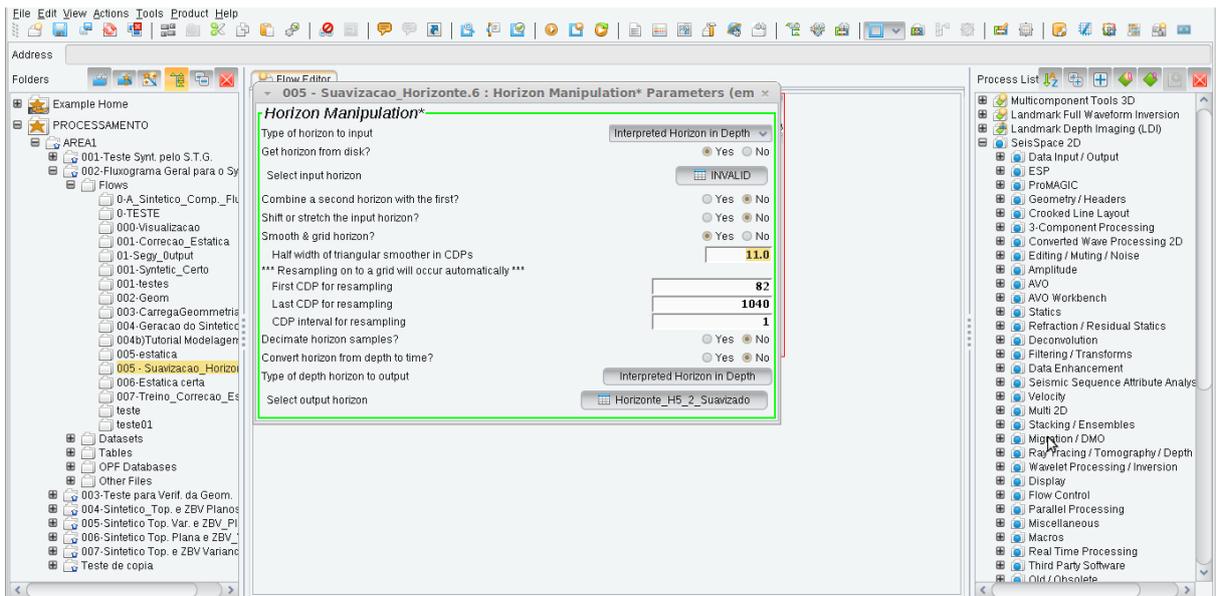


Figura A.26: Figura 26: Mostrando o módulo para suavização de horizontes e sua configuração.

Configure conforme está na Figura 26. Em "*Select input horizon*" onde aparece como "*INVALID*", clique com o botão esquerdo do *mouse* e então aparecerá todos os horizontes que foram criados por você, então agora o que você tem que fazer é escolher o seu horizonte de entrada que queira suavizar. Clique então no horizonte que deseja suavizar, com o botão esquerdo do *mouse* mesmo e depois em "*OK*". Feito isso você precisa agora definir um valor para o operador de suavização. Isso é perguntado na parte de "*HALF WIDTH OF TRIANGULAR SMOOTHER IN CDPs*". Quanto menor esse valor escolhido mais o operador irá suavizar e quanto maior menos ele irá suavizar. Em "*FIRST CDP FOR RESAMPLING*" e "*LAST CDP FOR RESAMPLING*" coloque os valores de entrada para o seu primeiro e último CDP e em "*CDP INTERVAL FOR RESAMPLING*" coloque o valor que você quer que seja feito a suavização entre os CDPs no geral a depender do seu modelo é claro o mais indicado é deixar com o valor 1 mesmo, ou seja a suavização será entre cada CDP. E em "*SELECT OUTPUT HORIZON*" coloque um nome para o seu novo horizonte suavizado que será então, criado. Para ter ideia de quanto é o poder de suavização deste módulo crie uma saída teste e depois teste outro valor até o que ficar mais apropriado de acordo com o seu modelo. Para verificar o seu horizonte suavizado, coloque o módulo *Volume Viewer/Editor* para rodar como quaisquer valores do campo de velocidade criado. Em seguida quando o campo de velocidade aparecer vá em "*File*" → "*Open*" → "*Horizon*". Aparecerá à lista de horizontes que foram criados, clique em cima do horizonte criado, depois vá em *Ok*. Caso queira comparar a suavização com o horizonte original faça o mesmo processo e veja os dois horizontes lembrando que o primeiro aberto ficará em 2º plano, mas dará para ver a sua marcação ainda assim na hora da comparação. Como podemos ver na Figura 27.

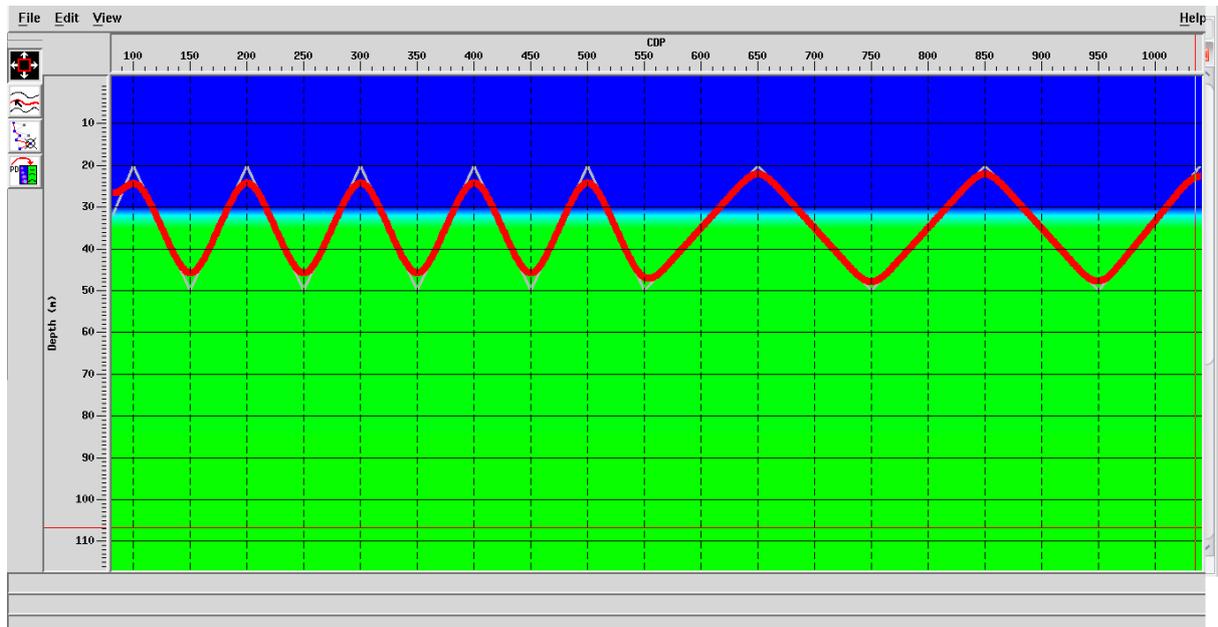


Figura A.27: Figura 27: Visualização para comparação do horizonte original e o mesmo suavizado.

Para fechar os horizontes, vá novamente em "*File*" → "*Close*" → "Nome do horizonte". Para então criar o seu novo campo de velocidade a partir desse (s) horizonte (s) é só abrir os horizontes e então fazer como já procedemos neste tutorial anteriormente no caso dos limites de definição de comportamento do modelo no passo anterior como na Figura 24.

Passo 4.

Por último depois do campo de velocidade criado agora vamos fazer finalmente a modelagem. Abra uma nova janela de fluxo e pesquise pelos módulos *Disk Data Input*, *Finite Difference Modeling* e *Disk Data Output*. Pronto o seu *dataset* de entrada no Ddi (*Disk Data Input*) será a geometria carregada do dado sintético preliminar e no módulo *Finite Difference Modeling* a entrada será o campo de velocidade gerado e editado para todos os CDPs e em (*Disk Data Output*) Ddo crie apenas um *dataset* de saída. Para a parametrização do módulo de Modelagem por Diferenças Finitas (*Finite Difference Modeling*) onde está *Velocity Field* entre com o seu campo de velocidade. Na segunda opção ainda no módulo, deve perguntar se você quer um campo de densidade então a depender do que você queria marque como sim, para o meu trabalho não foi necessário então marquei como não. Na terceira opção escolha "*Synthetic Data*", pois criamos um sintético preliminar para a geração do sintético final. Da quarta opção até a 11^o a parametrização é a sua escolha e depende obviamente de seu modelo. Na opção 12 é uma condição que você escolhe para a condição de contorno na superfície se será absorvivo ou reflexivo. Nos itens 13 marque como "*yes*" pois o dado sintético final admitirá como entrada a geometria do sintético preliminar. Na opção 14 você pode a depender do que queira usar a elevação do sintético preliminar caso você tenha criado nas tabelas de geometria. Lembrando que no modelo de velocidades a elevação/topografia entra no domínio como negativo, para isto basta escolher entre sim ou não. Caso você não queira pode criar a topografia como horizonte no módulo de *Volume Viewer/Editor**, ao passo que já foi explicado anteriormente. Vale ainda ressaltar que neste item caso você marque "*yes*" no item seguinte coloque como *datum* um valor maior do que a mais alta elevação do seu dado, em conformidade a Figura 28.

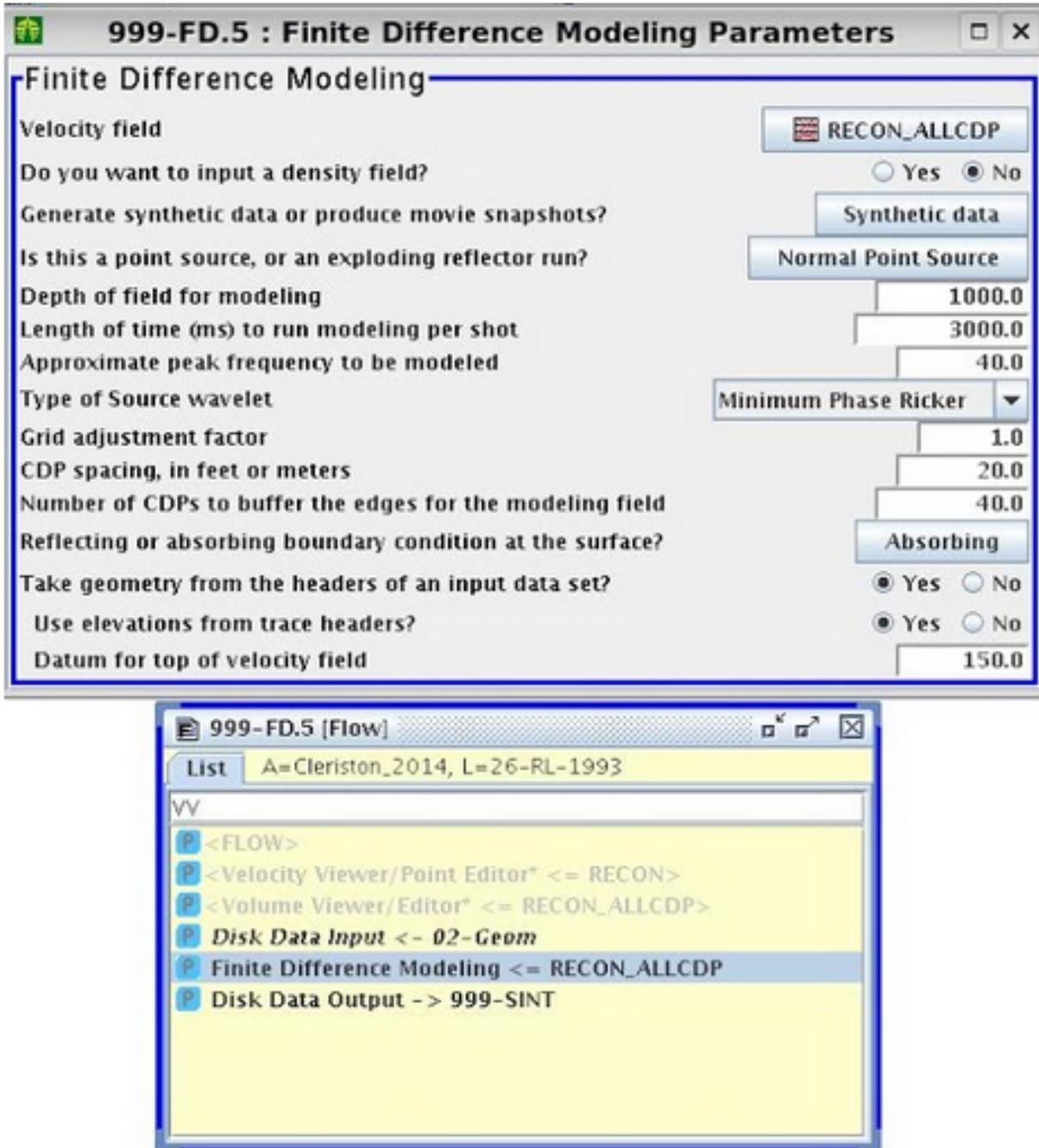


Figura A.28: Figura 28: Módulo usado na modelagem por diferenças finitas e seus parâmetros.

Pronto a depender do número de tiros e também de sua razão de amostragem se foi escolhida 2 ou 4ms irá levar mais tempo para rodar o *dataset* de saída. Após feito isso quando o seu *Dataset* de saída estiver pronto, coloque um *ddi* e depois um **Trace Display** num mesmo fluxo ou até em outro e em seguida coloque este fluxo para rodar e pronto o seu sismograma sintético está pronto para ser visualizado, note que a depender do número de tiros e outras parametrizações do seu dado a saída irá demorar para ser gerada mesmo que o poder computacional de sua máquina seja alto. Dica se quiser ver melhor o resultado

do seu sintético quando o *display* aparecer, vá em "View" → "Trace Display", abrirá uma janela, escolha as marcações *Variable Density* em *Display Type* e em "Variable Density Controls" marque "Grayscale" em seguida clique em *Ok*. O *display* aparecerá como na Figura 29. Você pode fazer isso no próprio módulo do *Trace Display* na opção de "Trace Display MODE" mudar de "WT/VA" para "Grayscale".

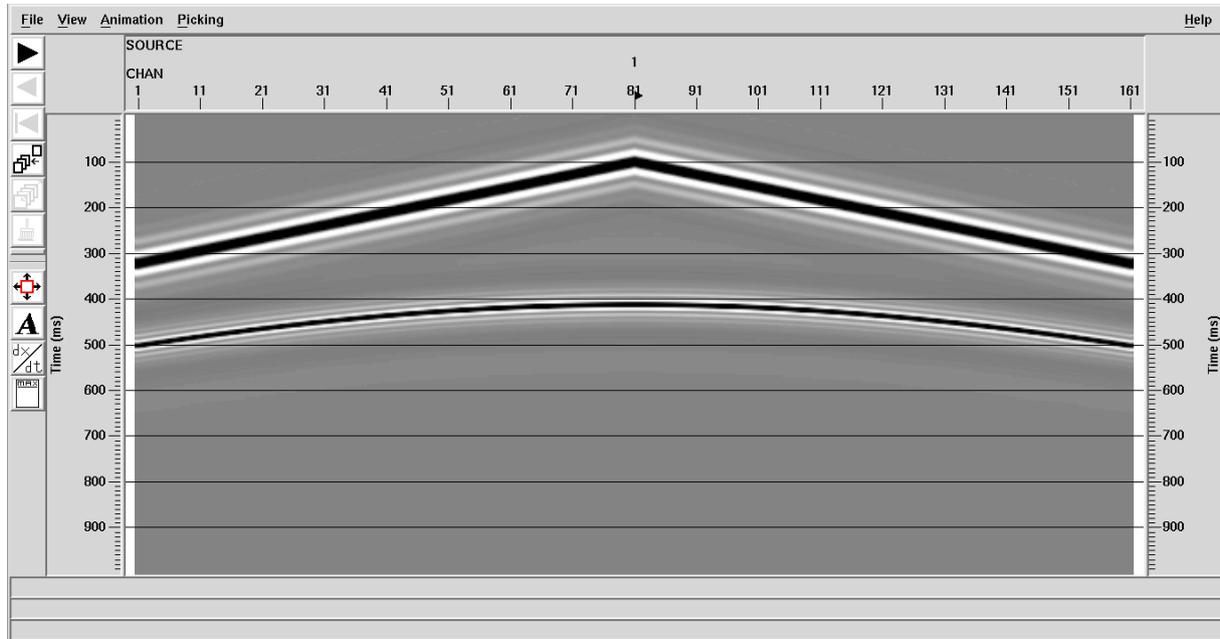


Figura A.29: Figura 29: Visualização do sintético na opção de Variable Density em Grayscale em vez de Wiggle.

Referências Bibliográficas

- Abreu, A. S., 2005. Processamento de Dados Sísmicos do Golfo do México usando o Seismic Unix – Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador, Brasil.
- Amorim, W. N., 1885 - Cálculo das Correções Estáticas através do Princípio da Tomografia Sísmica, Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Amorim, W. N. e Santos, M. G., 2007. Correções Estáticas, PETROBRAS, publicação interna.
- Cox, M., 1999. Static Corrections for Seismic Reflection Surveys. Society of Exploration Geophysicists – SEG, Tulsa.
- Cunha, R. S. 2010. Cálculos das Correções Estáticas. Trabalho de Graduação. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador, Brasil.
- Gama, C. S.; Santos. M. G e Porsani, M. J.(2016) . Processamento Sísmico 2D : Linha 26-RL-1993 da Bacia do Recôncavo. Ouro Preto. VII Simpósio Brasileiro de Geofísica.
- Kearey, P.; Brooks, M. e Hill, I., 2009 - Geofísica de Exploração. Coelho, M. C. M.(trad), São Paulo, Oficina de Textos.
- Rosa, A.L.R., 2010. Análise do Sinal Sísmico. Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, Brasil.
- Silva, M. G. 2004. Processamento de Dados Sísmicos da Bacia do Tacutu. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Silva, M.G. e Porsani, M.J., 2006. Aplicação de balanceamento espectral e DMO no processamento sísmico da Bacia do Tacutu. Revista Brasileira de Geofísica., Brasil.
- Soares, A. G. O., 2011. Modelamento e Processamento de Dados Sísmicos Usando o Software Livre Seismic Unix - Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Natal, Brasil.
- Souza, W. E. 2014, Processamento CMP de Dados Sísmicos Levantados no Norte da Bacia do São Francisco utilizando o Pacote de Programas SeisSpace. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador, Brasil.

Souza, W. E. 2014, Determinação Automática das Primeiras Quebras e Aplicações na Correção Estática e Processamento Sísmico da Bacia do Parnaíba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

Yilmaz, O., 1987. Seismic Data Analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data, Society of Exploration Geophysicists - SEG, Tulsa.