



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

THIAGO ZSCHORNACK RODRIGUES SARAIVA

**ANÁLISE DE VELOCIDADE POR MIGRAÇÃO:
APLICAÇÃO A UM DADO REAL**

**Belém - Pará
2012**

Thiago Zschornack Rodrigues Saraiva

**ANÁLISE DE VELOCIDADE POR MIGRAÇÃO:
APLICAÇÃO A UM DADO REAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geofísica do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará - UFPA, em cumprimento
às exigências para obtenção de Bacharel
em Geofísica.

Orientadora: Dra. Ellen de Nazaré Souza
Gomes

**Belém - Pará
2012**

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

S586b Saraiva, Thiago Zschornack Rodrigues

Análise de velocidade a partir de migração: aplicação a um dado real / Thiago Zschornack Rodrigues Saraiva; Orientador: Ellen de Nazaré Souza Gomes – 2012

39f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém, 2012.

1.Método de reflexão sísmica. 2. Processamento sísmico.3. Migração pré-empilhamento. 4. Análise de velocidade por migração.I. Gomes, Ellen de Nazaré Souza, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 551.22

Thiago Zschornack Rodrigues Saraiva

**ANÁLISE DE VELOCIDADE POR MIGRAÇÃO:
APLICAÇÃO A UM DADO REAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geofísica
do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará - UFPA,
em cumprimento às exigências para
obtenção de Bacharel em Geofísica.

Data de Aprovação: ____ / ____ / ____

Conceito:

Banca Examinadora

Ellen de Nazaré Souza Gomes – Orientador
Doutora em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Alberto Leandro de Melo – Membro
Mestre em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Itamara do Socorro da Silveira Campos – Membro
Mestre em Geofísica
Universidade Federal do Pará

À minha mãe, Soniamar Zschornack Rodrigues Saraiva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Soniamar Zschornack Rodrigues Saraiva, pelo auxílio na consolidação deste trabalho, e por todos os demais auxílios no decorrer deste curso.

Aos professores, colegas e amigos.

Agradeço também aos funcionários Ana Paiva Ribeiro, Lucibella, Benildes Lopes, Suellen, Roberto, Nielsen, Paulo Magalhães, Carlos Alberto, Haroldo, Nascimento e Afonso Quaresma.

E por último, à Agência Nacional do Petróleo, Gás e Bicom bustíveis e demais instituições parceiras pela bolsa do Programa de Recursos Humanos – PRH 06.

RESUMO

O correto imageamento de refletores inclinados é de fundamental importância para uma melhor interpretação de dados sísmicos. A metodologia de análise de velocidade por migração demonstra ser uma excelente alternativa para esses tipos de refletores. Através de tal metodologia, pretende-se efetuar uma migração pré-empilhamento em um dado real. A escolha do melhor modelo de velocidade é efetuada em seções ponto-imagem comum (ou CIGs), segundo a inclinação dos eventos. Ao efetuar a análise de velocidade por migração, os eventos alinhados horizontalmente correspondem ao mais adequado modelo de velocidade e, portanto, geram uma imagem mais acurada da subsuperfície. A proposta sugerida neste trabalho apresentou resultados satisfatórios em dados marinhos reais da bacia do Jequitinhonha, situada na margem leste do Brasil.

Palavras-Chave: Método de reflexão sísmica. Processamento sísmico. Migração pré-empilhamento. Análise de velocidade por migração.

ABSTRACT

The correct imaging of dipping reflectors is extremely important for an accurate seismic comprehension. Migration velocity analysis seems a good choice when these reflectors appears. To solve this problem, I'm applying pre-stack migration to real data. Pickings are chosen from CIG sections, observed the dipping showed on the sections. The horizontal events consists in the best velocity field for non-stacked data, and it's not available for the conventional seismic processing. The solution proposed here exhibited reasonable results for real data obtained from Jequitinhonha basin.

Keywords: Seismic processing. Pre-stack migration. Migration velocity analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Geometria para o cálculo da equação do tempo de trânsito DSR.....	15
Figura 2 – Modelo exemplificando o somatório de Kirchhoff	16
Figura 3 – Representação esquemática da migração pré-empilhamento em tempo de cada seção de afastamento comum. Cada seção migrada corresponde a uma seção de afastamento comum com o mesmo CMP e mesmo afastamento.....	19
Figura 4 – Representação esquemática da construção de seções CIG's a partir da migração em tempo.....	20
Figura 5 – Seções CIG's com velocidade de migração: a) menor que o valor correto; b) com o valor correto; c) valor maior que o correto.....	20
Figura 6 - Parâmetros de aquisição da linha 66	21
Figura 7 – Mapa das bacias sedimentares brasileiras. A bacia do Jequitinhonha é a de número 13.....	22
Figura 8- Localização da linha.....	23
Figura 9 - Seção esquemática da bacia do Jequitinhonha	24
Figura 10– Fluxograma dos procedimentos propostos com os testes necessários para a validação.....	25
Figura 11 – Modelo de velocidade utilizado inicialmente para a migração pré-empilhamento em offset comum.....	26
Figura 12 – Seção migrada pré-empilhamento em afastamento comum. Em evidência os receptores número 15.....	28
Figura 13 – Idem para os receptores de número 19.....	29
Figura 14 – CIGs da parte profunda dos dados.....	30
Figura 15 – Zoom dessa área mais profunda. Notar que para alguns tempos a curva não está paralela.....	31
Figura 16 – Mesma figura anterior, em destaque o polígono selecionado onde a velocidade será manipulada.....	32
Figura 17 – Funções que podem ser utilizadas na manipulação do campo de velocidade.....	32
Figura 18 – Seção migrada pré-empilhamento em tempo da linha 66, após as	

edições no modelo de velocidade segundo a metodologia proposta.....	34
Figura 19 – Seção mostrando o resultado da migração após a aplicação do SRME seguido do filtro Radon.....	34

LISTA DE ABREVIações

CIG – Seção ponto imagem comum (*Common-image gather*)

CVS – Empilhamento a velocidade constante (*Constant velocity stack*)

CMP – Agrupamento em Ponto-médio comum (*Common midpoint*)

MVA – Análise de Velocidade Por Migração (*Migration Velocity Analysis*)

ProMAX® - Programa utilizado para processamento de dados sísmicos

SRME – Eliminação de múltiplas de superfície livre (*Surface related multiple elimination*)

V_{RMS} – Velocidade média quadrática (*Root Mean Square*)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. FUNDAMENTOS DA ANÁLISE DE VELOCIDADE POR MIGRAÇÃO	14
2.1 MIGRAÇÃO PRÉ-EMPILHAMENTO	14
2.2 MIGRAÇÃO PRÉ-EMPILHAMENTO KIRCHHOFF	14
2.3 MODELO DE VELOCIDADE	17
2.4 ANÁLISE DE VELOCIDADE POR MIGRAÇÃO	17
2.4.1 Seções CIG	18
3. APLICAÇÃO A UM DADO REAL	21
3.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GEOLÓGICOS	21
3.2 FLUXO DE PROCESSAMENTO	24
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	33
5. CONCLUSÕES	35
BIBLIOGRAFIA	36

1 INTRODUÇÃO

Dentre os métodos de prospecção Geofísica o método sísmico é o mais empregado na prospecção de hidrocarbonetos. Estruturas geológicas que podem potencialmente ser reservatórios de hidrocarbonetos podem ser estimadas através de imagens sísmicas. Essas imagens são criadas a partir de contrastes de propriedade física (acústica) do meio utilizando medidas de reflexão de ondas mecânicas.

A seção sísmica é gerada através do processo de migração sísmica. Na migração, os dados sísmicos passam por procedimentos matemáticos que resultam em uma imagem que evidencia os refletores em subsuperfície, e é um dos passos finais do processamento sísmico (etapa constituída de uma série de operações matemáticas em que os dados sísmicos são submetidos com objetivo de aumentar a razão sinal-ruído (YILMAZ, 2001).

Existem diversas metodologias quanto à procedimento e configurações dos dados que determinam o processamento sísmico, dentre eles os domínios de aplicação (se em tempo ou profundidade), as dimensões do levantamento (2D ou 3D) e nos tipos de dados sísmicos (pré ou pós empilhado). Cada vez mais, tem-se obtido metodologias que visam melhorar a imagem obtida através de migrações sísmicas. Vale destaque para os primeiros trabalhos de Berkhout (1980) – extrapolação do campo de ondas; Claerbout (1985) que foi um dos pioneiros em sintetizar as metodologias de migração, então disponíveis; Claerbout e Doherty (1972) - equação da onda unidirecional; Gazdag (1978) - migração por deslocamento de fase; Loewenthal et al. (1976) - modelo do refletor explosivo; Schneider (1978) - formulação da integral para migração em duas e três dimensões e Stolt (1978), que produziu um dos primeiros algoritmos de migração. E para trabalhos mais recentes como Biondi (2006) – imageamento sísmico 3D e Leggot (2006) - Tomografia de migração em tempo, entre outros.

O tipo de migração mais utilizado é realizado no domínio do tempo com dados sísmicos processados pós-empilhamento. Isto se deve a dois principais fatores: um é o menor tempo de computação e o outro se deve ao fato desse tipo

de migração ser menos sensível a erros causados pela escolha do modelo de velocidade.

O resultado final de uma seção migrada é fortemente determinado pela escolha de um bom modelo de velocidade, principalmente em métodos de migração no domínio da frequência. No processamento sísmico convencional, a velocidade é estimada através de painéis de empilhamento como o painel de velocidade constante (CVS), em que, a partir dos dados organizados em famílias de ponto médio comum (CMP), é estimada uma velocidade que corresponde a uma média da velocidade do meio em subsuperfície.

Uma das metodologias propostas para melhorar o modelo de velocidade utilizado na migração é a análise de velocidade utilizando diretamente o operador de migração no tempo, chamada de tomografia de migração em tempo (LEGGOT, 2006). Nesta metodologia, foram utilizadas seções de ponto-imagem comum (CIGs).

Neste trabalho, a análise de velocidade utilizando o operador de migração em tempo foi realizada em uma linha sísmica marinha 2D da bacia do Jequitinhonha, localizada no sul do estado da Bahia. Antes da análise de velocidade por migração, foi aplicado ao dado bruto o processamento sísmico convencional e as técnicas de filtragem Radon ¹ (YILMAZ, 2001) e SRME² (VERSCHUUR et al 1992) com o objetivo de atenuar múltiplas preditivas e de superfície, respectivamente. Após esse procedimento foi apresentada uma análise do resultado obtido.

Este trabalho está dividido na seguinte estrutura: análise de velocidade por migração; aplicação da metodologia a um dado real; análise dos resultados e conclusões e recomendações.

¹ RADON - O filtro *Radon* transforma os dados ao domínio *tempo-moveout*, onde podemos zerar a energia das primárias. Transformadas parabólicas e hiperbólicas têm sido amplamente utilizadas no processamento sísmico como ferramenta na atenuação de reflexões múltiplas. Suas aplicações geram bons resultados na manipulação de eventos hiperbólicos.

² SRME – *surface-related multiple-elimination*. Método iterativo de eliminação de múltiplas no qual o dado de saída de uma etapa de interação é o dado de entrada para o próximo passo. Esse método independe do modelo de velocidade.

2 FUNDAMENTOS DA ANÁLISE DE VELOCIDADE POR MIGRAÇÃO

2.1 MIGRAÇÃO PRÉ-EMPILHAMENTO

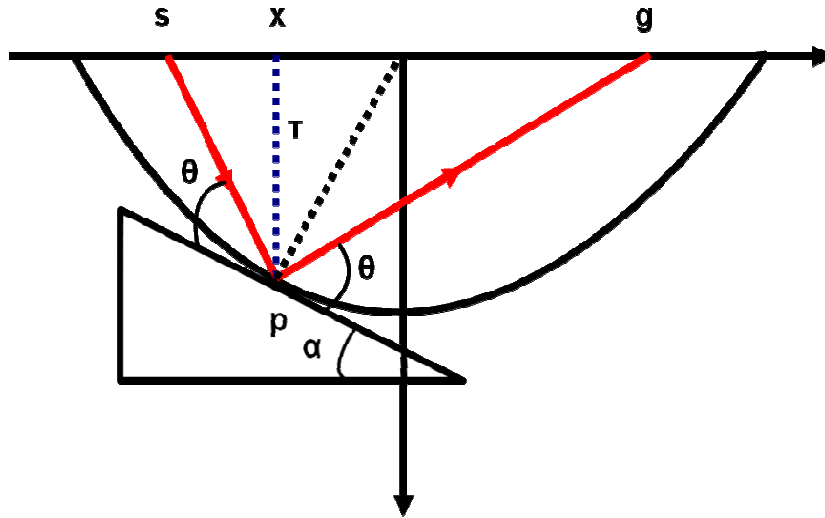
As etapas empregadas na denominada sísmica convencional consideram a subsuperfície como sendo composta de camadas planas horizontais uniformes, isto é, com variação lateral de velocidade muito suave ou desprezível. Entretanto, as características do interior terrestre relacionadas à prospecção de óleo e gás são de complexidade relativamente elevada, tais como dobras em anticlínios e/ou deformação por diapirismo salino, como é caso da recente descoberta de óleo nos carbonatos evaporíticos da camada pré-sal da bacia de Santos. Em tais situações, uma das alternativas para contornar as limitações do emprego do processamento sísmico convencional é a migração pré-empilhamento, a qual não é influenciada pelo mergulho dos refletores em subsuperfície, situação recorrente nas bacias sedimentares brasileiras da margem leste. A implementação da migração pré-empilhamento permite gerar seções migradas mais nítidas se comparadas às seções convencionais, sendo essas últimas influenciadas pelas heterogeneidades do meio, o que constitui fator determinante para a escolha da metodologia de análise de velocidade por migração.

2.2 MIGRAÇÃO PRÉ-EMPILHAMENTO KIRCHHOFF

O algoritmo de Kirchhoff é a maneira mais adequada para efetuar a migração pré-empilhamento nas seções sísmicas, o qual funciona segundo a equação do tempo de trânsito para afastamento não-nulo de um ponto difrator em subsuperfície, (YILMAZ 2001).

A migração de Kirchhoff consiste na determinação do tempo de trânsito da onda no percurso SPG da Figura 1. A equação que descreve a trajetória é conhecida como equação da raiz dupla ou DSR (*Double Square Root*).

Figura 1 - Geometria para o cálculo da equação do tempo de trânsito DSR



Fonte: Modificado por Trindade (2008)

O traço sísmico é uma função $D(t,g,s)$ na qual g representa a posição do receptor, s a posição da fonte e t o intervalo de tempo do registro. A migração pré-empilhamento em tempo pressupõe que um ponto difrator, na posição p , espalhe o campo de onda em uma superfície de tempo, conhecido como modelo do refletor explosivo, matematicamente representado por:

$$T_d(g,s,\tau,x) = \sqrt{\tau^2 + \frac{\|s-x\|^2}{v^2(\tau,x)}} + \sqrt{\tau^2 + \frac{\|g-x\|^2}{v^2(\tau,x)}} \quad (1)$$

Na equação (1) a variável τ representa o tempo de afastamento nulo para eventos de difração. A migração de Kirchhoff pré-empilhamento em tempo consiste em somar os tempos de trânsito registrados ao longo das superfícies de difração e posicionar os resultados no sistema (τ,x) .

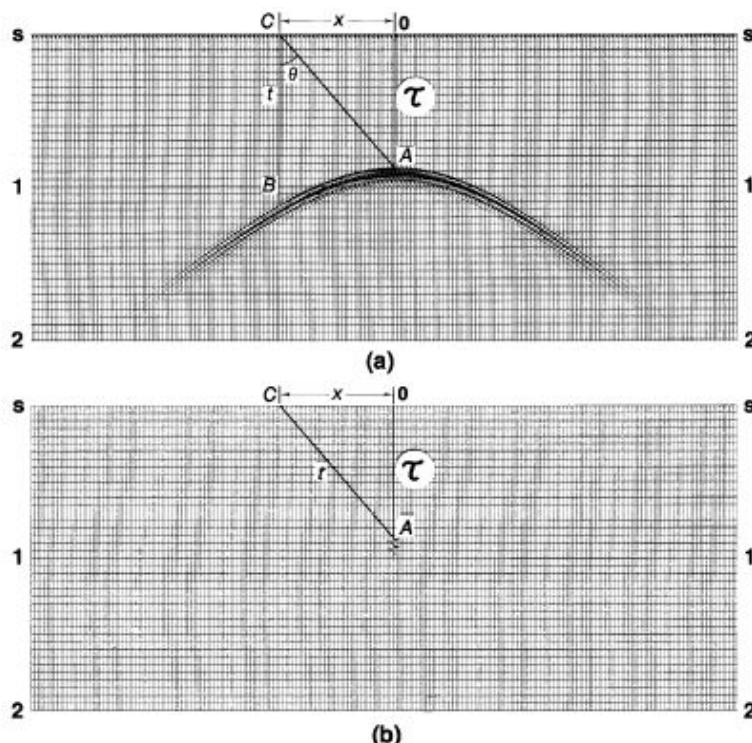
A soma das energias espalhadas é definida segundo a curva de espalhamento geométrico determinada pelo campo de velocidade na figura representativa. O valor somado da energia é atribuído a um único ponto difrator.

Os traços organizados em famílias de afastamento comum têm grande vantagem para a migração pré-empilhamento de modelos com forte variação lateral

de velocidade, reduzindo efeitos artificiais que são inerentes ao método de migração, tais como múltiplas. Observa-se também, de acordo com a equação (1), que a migração pré-empilhamento independe do mergulho dos refletores, pois não existe nenhuma variável selecionando o ângulo de mergulho α do refletor.

A equação (1) colapsa a energia de difração considerando que τ seja referente à trajetória da onda incidente no ponto p . Esse processo é repetido para todos os pontos difratores que compõem o refletor. A superposição destes pontos descreve a interface refletora das camadas em subsuperfície. O somatório das amplitudes das energias para cada conjunto de pontos compõe a seção migrada com resolução definida pelo modelo de velocidade de migração $V(\tau, x)$. Esse modelo de velocidade é sensível à variações bruscas de velocidade. A velocidade RMS pode ser usada como uma constante $V(\tau, x) = k$ em casos de pouca variação lateral. A Figura 2 mostra o funcionamento da migração de Kirchhoff.

Figura 2 – Modelo exemplificando o somatório de Kirchhoff



Fonte: Yilmaz (2001)

2.3 MODELO DE VELOCIDADE

Conforme visto na equação (1), de todas as variáveis envolvidas, a única que ainda não foi discutida é o ângulo de inclinação da camada de mergulho α , o que se traduz como um modelo de velocidade de migração independente da inclinação dos refletores. A estimativa de velocidade através de procedimento manual é mais lenta em relação ao processamento sísmico convencional, devido ao fato de ser efetuado um ou mais procedimentos para cada seção ponto-imagem comum (CIG). Uma alternativa ao procedimento manual é proposta por Trindade (2008), em que a função *semblance* diferencial é utilizada na otimização de modelo de velocidade com o auxílio do algoritmo *simulated annealing* e posteriormente aplicada à dados sintéticos Marmousoft. (VERSTEEG e GRAU, 1990)

Para obter maior êxito na migração pré-empilhamento em tempo, uma das alternativas é a análise de velocidade por migração, utilizada neste trabalho, em que consiste em alterar o modelo de velocidade em agrupamentos de dados migrados segundo um modelo de velocidade pré-definido, selecionando uma determinada área das seções ponto-imagem comum (CIGs) e aplicando um recurso que consiste em ajustar manualmente o modelo de velocidade na área selecionada das seções CIGs. Esse recurso é oferecido pelo ProMAX®³

O processo é semelhante à migração convencional pós-empilhamento, a qual seleciona o modelo de velocidade em painéis de empilhamento a velocidade constante (CVS) para a posterior migração.

2.4 ANÁLISE DE VELOCIDADE POR MIGRAÇÃO

A análise de velocidade convencional funciona segundo a trajetória hiperbólica do tempo de chegada em função do afastamento na sísmica de

³ ProMAX *Family Seismic Data Processing Software*, um programa bastante utilizado no processamento sísmico, que possui várias ferramentas e possibilita diferentes formas de tratamento dos dados.

reflexão. Este comportamento é válido para pequenos afastamentos e variação de velocidade exclusivamente na vertical. Nos casos em que os refletores apresentam mergulho, o uso deste modelo acarreta estimativas de velocidades acima do valor da velocidade RMS para o meio em questão. O modelo de velocidade gerado por essa análise de velocidade mostra-se útil para o empilhamento, porém não é adequado para migração (TRINDADE, 2008).

Para efeito de comparação, foi implementado um algoritmo que não apresenta as limitações da análise de velocidade convencional, utilizando o fluxo da análise de velocidade por migração no *software* ProMAX (Figura 9), sendo a seleção das CIGs, onde o modelo de velocidade foi otimizado manualmente, através de uma interface e então atualizada utilizando a média das velocidades ao longo da área selecionada na interface do programa.

Os dados foram migrados antes do empilhamento e então agrupados em seções de afastamento comum. Cada seção CIG é obtida através de dados migrados para um mesmo CMP e dispostos em função do afastamento entre fonte e receptor. Se o modelo de velocidade proposto estiver em conformidade com a geologia do meio investigado, os eventos de reflexão devem estar alinhados horizontalmente. A medida de alinhamento dos eventos foi a do *semblance* diferencial⁴. A seguir, é apresentada a implementação da análise de velocidade por migração. Inicialmente serão descritas as seções CIG, e posteriormente mostraremos a aplicação dessa prática em um dado real.

2.4.1 Seções CIG

Seções exibindo o dado migrado a partir de diferentes seções de afastamento-comum são denominadas CIG's. Cada CIG nada mais é do que o dado migrado contendo traços com o mesmo CMP e diferentes afastamentos, conforme as Figuras 3 e 4.

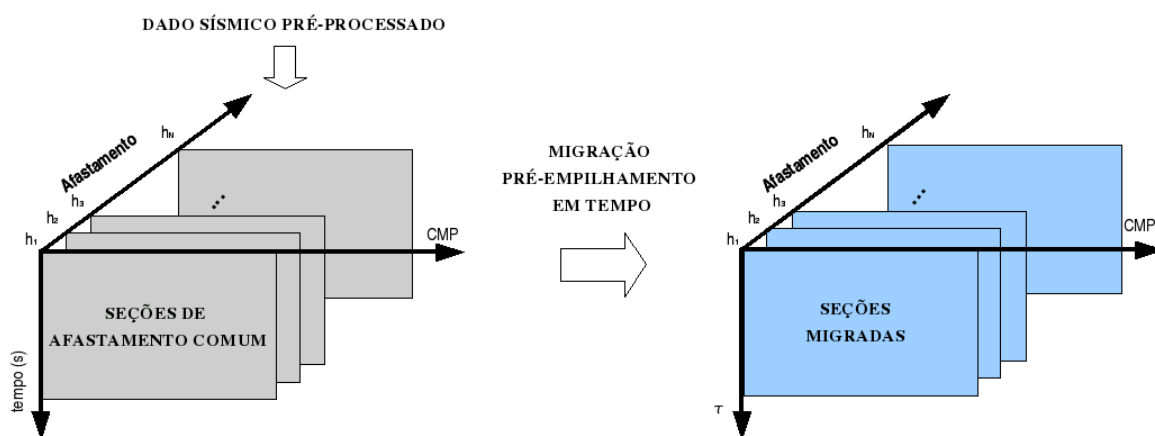
Após efetuar a migração pré-empilhamento, cada traço resultante é função tanto do CMP quanto do afastamento. Para a escolha do modelo de velocidade a

⁴ sucintamente descrita no trabalho de Trindade (2008).

partir desses traços os mesmos são reagrupados em painéis de ponto-imagem comum (CIG). Existem basicamente dois tipos de CIG: Em função do afastamento comum, sendo este o cerne deste trabalho; e em função do ângulo de inclinação dos refletores, sendo esta ultima discutida por Biondi e Tisserant (2003).

Para gerar as seções CIG em função do afastamento comum, o primeiro estágio consiste em separar o dado em seções de afastamento comum. Cada seção afastamento-comum é migrada em tempo individualmente antes do empilhamento. Após isso, cada CMP é amostrado em diferentes painéis em função do afastamento h (conforme indicado nas Figuras 3, 4 e 5).

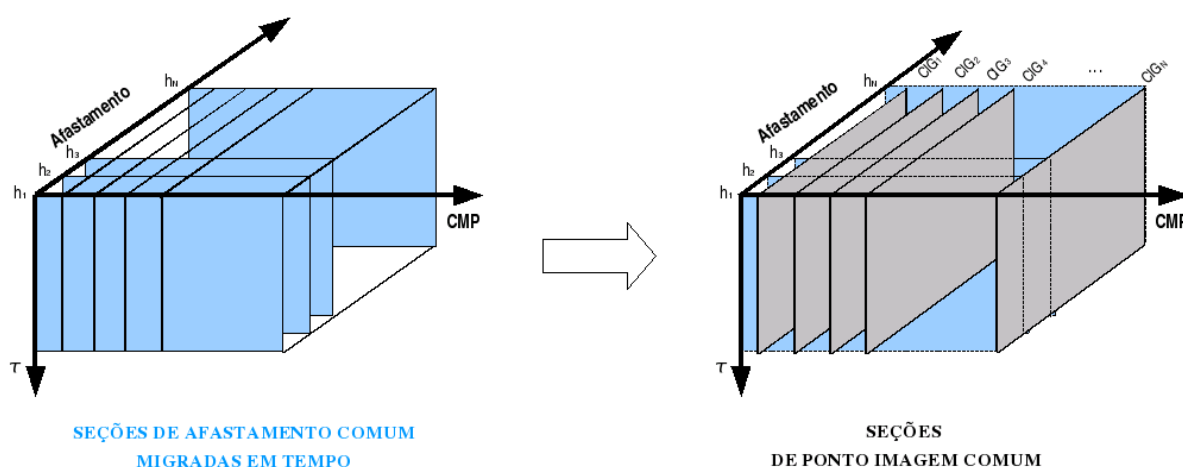
Figura 3 - Representação esquemática da migração pré-empilhamento em tempo de cada seção de afastamento comum. Cada seção migrada corresponde a uma seção de afastamento comum com o mesmo CMP e mesmo afastamento.



Fonte: Trindade (2008)

A seguir, são selecionados os traços de mesmo CMP nas seções migradas.

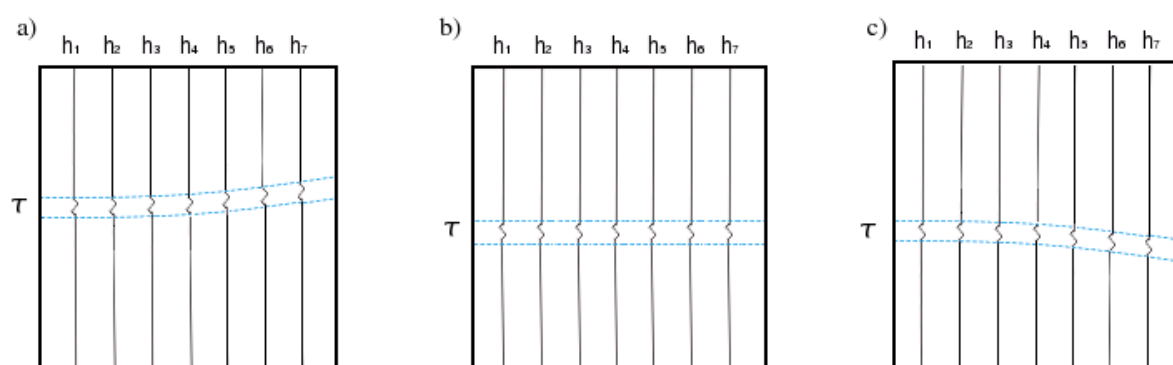
Figura 4 – Representação esquemática da construção de seções CIG's a partir da migração em tempo.



Fonte: Trindade (2008)

Se o modelo de velocidade adotado estiver correto, um mesmo evento deve ser imageado no mesmo instante ao longo de uma seção CIG. Isto é, os eventos devem estar alinhados ao longo da seção. Para valores abaixo da velocidade correta, o evento apresentará uma curva uma voltada para cima (Figura 5), caso contrário, apresentará curvatura para baixo.

Figura 5 – Seções CIG com velocidade de migração: a) menor que o valor correto; b) com o valor correto; c) valor maior que o correto.



Fonte: Trindade (2008)

3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA A UM DADO REAL

Todo o processo, até então descrito, foi testado na linha 214-2660 da bacia do Jequitinhonha (dado marinho real), adquirida pela Petrobrás em 1985. A linha foi levantada segundo a direção de mergulho dos estratos (*dip line*) de sedimentos que compõem a bacia.

O dado aqui utilizado encontra-se devidamente pré-processado, além de algumas filtragens (SRME e *Radon*) e possui os seguintes parâmetros:

Figura 6 - Parâmetros de aquisição da linha 66

Especificações	Dados
Número de canais	120
Intervalo entre os canais	25 m
Profundidade dos canais	10.5 m
Número de tiros	1577
Intervalo entre tiros	25 m
Profundidade da fonte	9 m
Tempo de registro	7 s
Afastamento mínimo	150 m
Afastamento máximo	3125 m
Extensão do levantamento	39.425 m
Taxa de amostragem	4 ms

Fonte: Oliveira (2011)

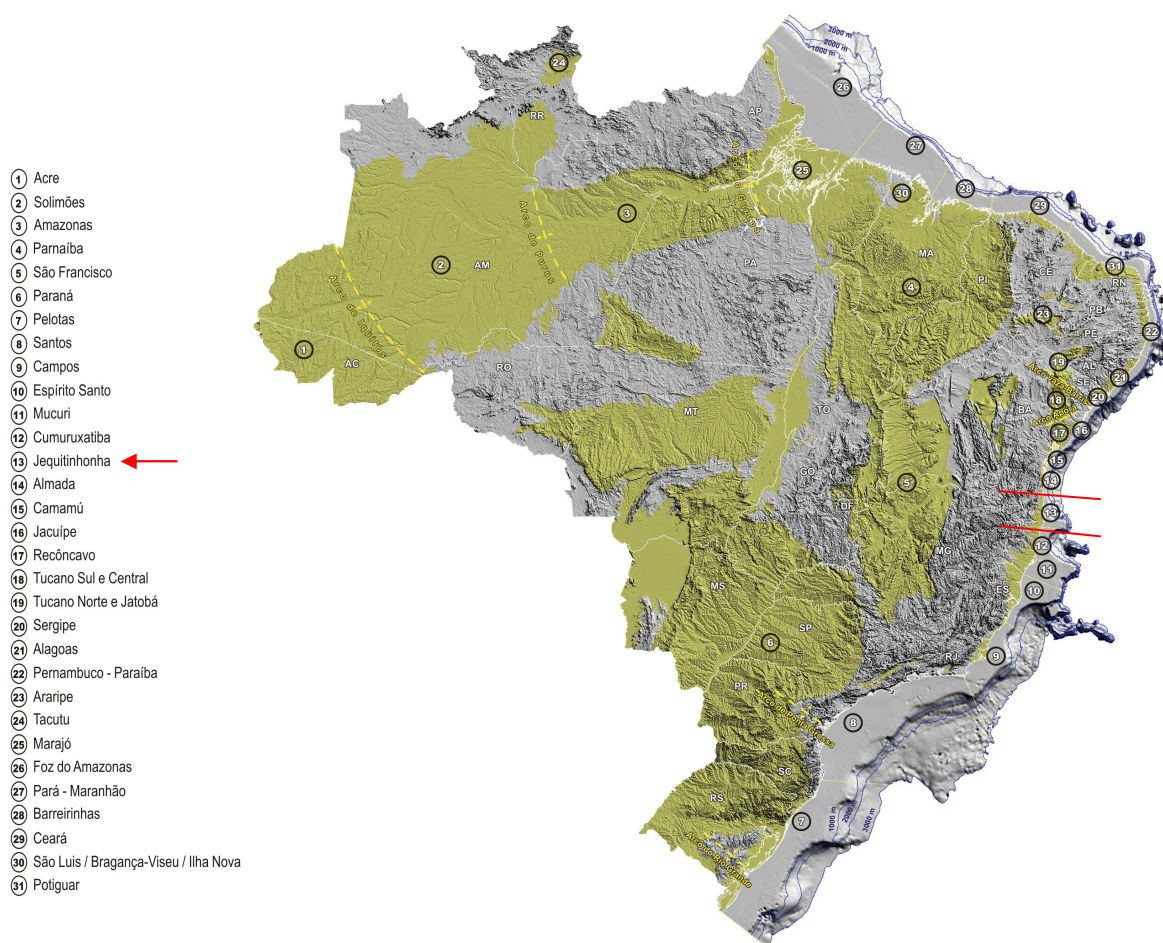
3.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GEOLÓGICOS

A bacia do Jequitinhonha situa-se na margem continental leste do Brasil e é formada por esforços predominantemente distensivos, na costa sul do estado da

Bahia, entre as bacias de Almada e Cumuruxatiba. Limita-se entre os paralelos 14° 37' Sul e 16° 24' Sul sobre os altos de Royal Charlotte e Olivença, respectivamente. Compreende uma área total de 25.685 Km² e se estende até a cota batimétrica 3.500 m, sendo apenas 20% de sua área (cerca de 5.535 Km²) situados na parte emersa. Possui apenas 31 poços exploratórios perfurados, limitando-se à parte emersa e às cotas batimétricas mais rasas, sendo assim toda a informação disponível sobre as cotas mais profundas oriunda de dados sísmicos.

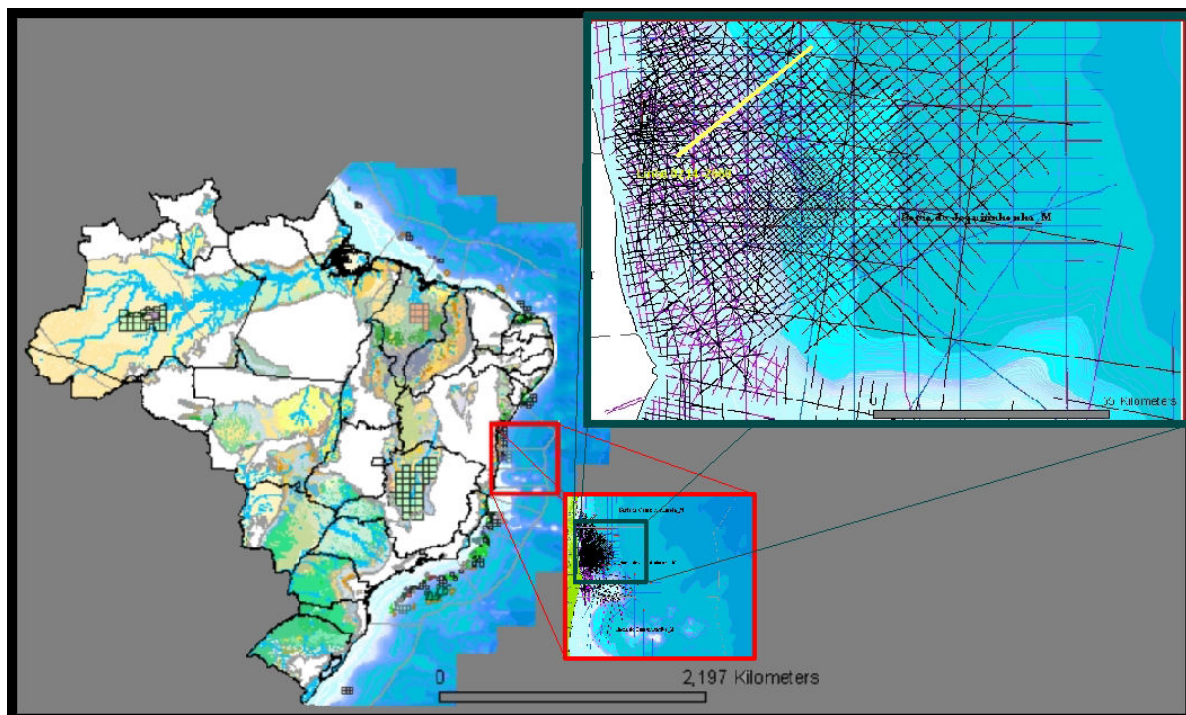
A Figura 7 mostra o mapa contendo a distribuição das bacias sedimentares brasileiras e a Figura 8 mostra a localização da linha 214-2660.

Figura 7 – Mapa das bacias sedimentares brasileiras. A bacia do Jequitinhonha é a de número 13.



Fonte: Milani et. al (2007)

Figura 8- Localização da linha.



Fonte: ANP - BDEP

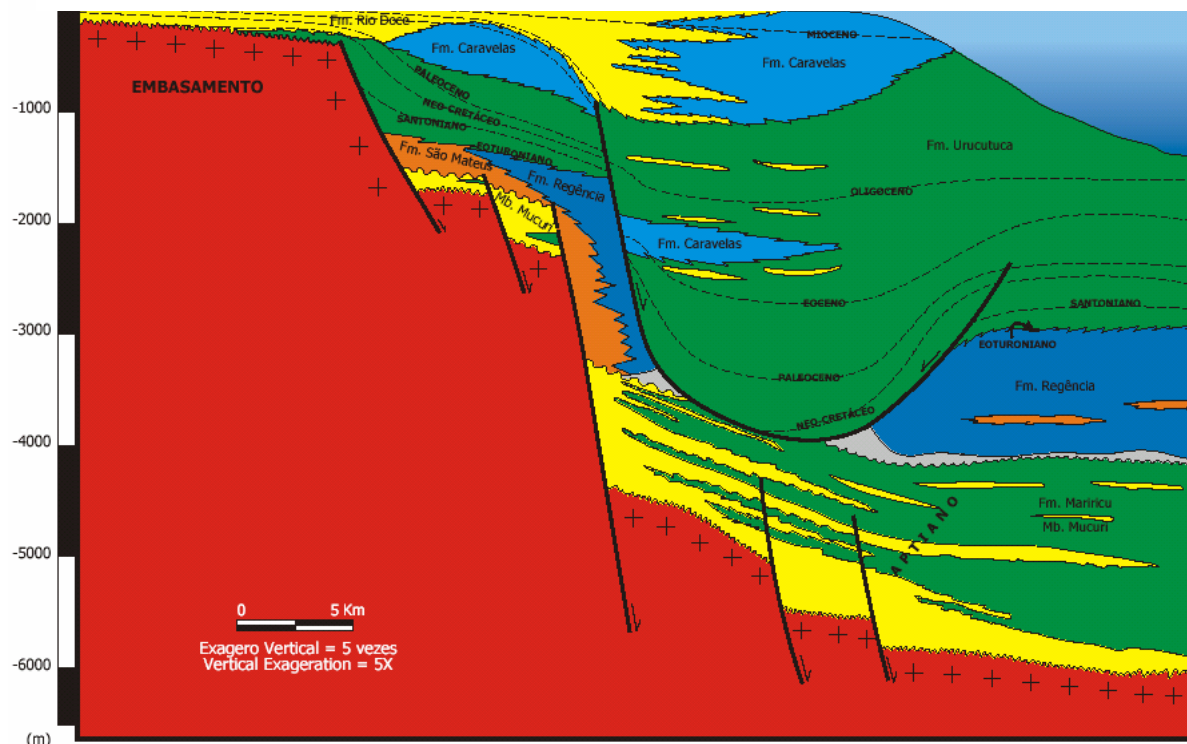
As características deposicionais da bacia do Jequitinhonha diferem das demais bacias de margem leste. A seção Rifte, que vai dos andares barremiano ao aptiano inferior (andares locais Aratu, Buracica e Jiquiá) ocorre nas porções média e distal da bacia (Formação Mariricu/membro Mucuri).

Outra característica singular ocorre na seção Pós-Rifte, em que os espessos sedimentos do andar alagoas situados na porção terrestre parecem acunhar-se gradativamente em direção à porção média da bacia, conforme sugerem dados sísmicos. O acunhamento do membro mucuri na parte média/distal propicia a deposição de evaporitos (Mb Itaúnas) diretamente sobre coquinas e folhelhos da Fm Cricaré/Mb Sernambi (andar Jiquiá).

Os evaporitos Itaúnas (basicamente as halitas) foram intensamente deformados logo após o início de sua deposição, e essa deformação continuou de forma intensa até os dias atuais, moldando a arquitetura da bacia e controlando intensamente a deposição das seqüências superiores. Na parte média e distal da bacia ocorreu a formação de bacias interdômicas controladas por diapirismo.

A Figura 9 exibe uma seção geológica esquemática sintetizando a contribuição da sísmica para a obtenção de informações acerca desta bacia.

Figura 9- Seção esquemática da bacia do Jequitinhonha.



Fonte: ANP (2002)

3.2 FLUXO DE PROCESSAMENTO

A discussão da metodologia proposta neste trabalho restringiu-se apenas à parte mais profunda do dado obtido na linha 214-2660, tendo em vista o fato de que a parte rasa não ter apresentado resultados satisfatórios, o que se deve ao fato da parte rasa ser bastante afetada por outros tipos de ruído, tais como múltiplas de superfície livre e ruído de cabo. A implementação ocorreu segundo o processo descrito no capítulo anterior. O dado foi migrado antes do empilhamento (ver o modelo de velocidade utilizado na Figura 11 e organizado em afastamento comum); nas Figuras 12 e 13, são exibidas as seções para os canais 15 e 19, os quais distam cerca de 500 m e 600 m da fonte, respectivamente.

A seguir, é mostrada a seção contendo as CIG's da parte profunda da linha 214-2660 (Figura 14). Ao ampliar uma determinada área, é nítido o não alinhamento das CIGs, sendo os valores gerados pelo modelo de velocidade inicial (Figura 15) maiores que os valores do meio geológico em questão (notar a inclinação para baixo mais acentuada). A escala de cores no rodapé da figura mostra o gradiente de valores da velocidade (entre 1480m/s e 4000 m/s).

A Figura 16 mostra a janela de edição na qual o polinômio (área selecionada pelo operador junto à interface do programa) de ajustes do modelo de velocidade está inserido e logo abaixo está a janela de opções que o ProMAX® permite para o ajuste dos valores (Figura 17). Neste trabalho a opção escolhida foi a “*Average Velocities*” (média das velocidades).

O resultado é uma seção migrada pré-empilhamento em tempo (Figura 18), sendo esta imagem resultado da metodologia proposta, exibida no próximo capítulo, juntamente com uma seção migrada pós-empilhamento (MENDONÇA 2009) utilizada para efeito de controle.

Figura 10 – Fluxograma dos procedimentos propostos com os testes necessários para a validação. Em destaque aqueles cujo enfoque foi dado neste trabalho.

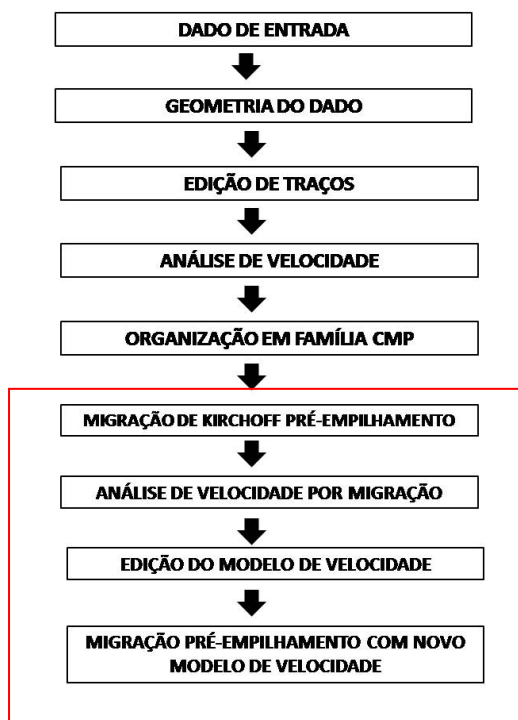
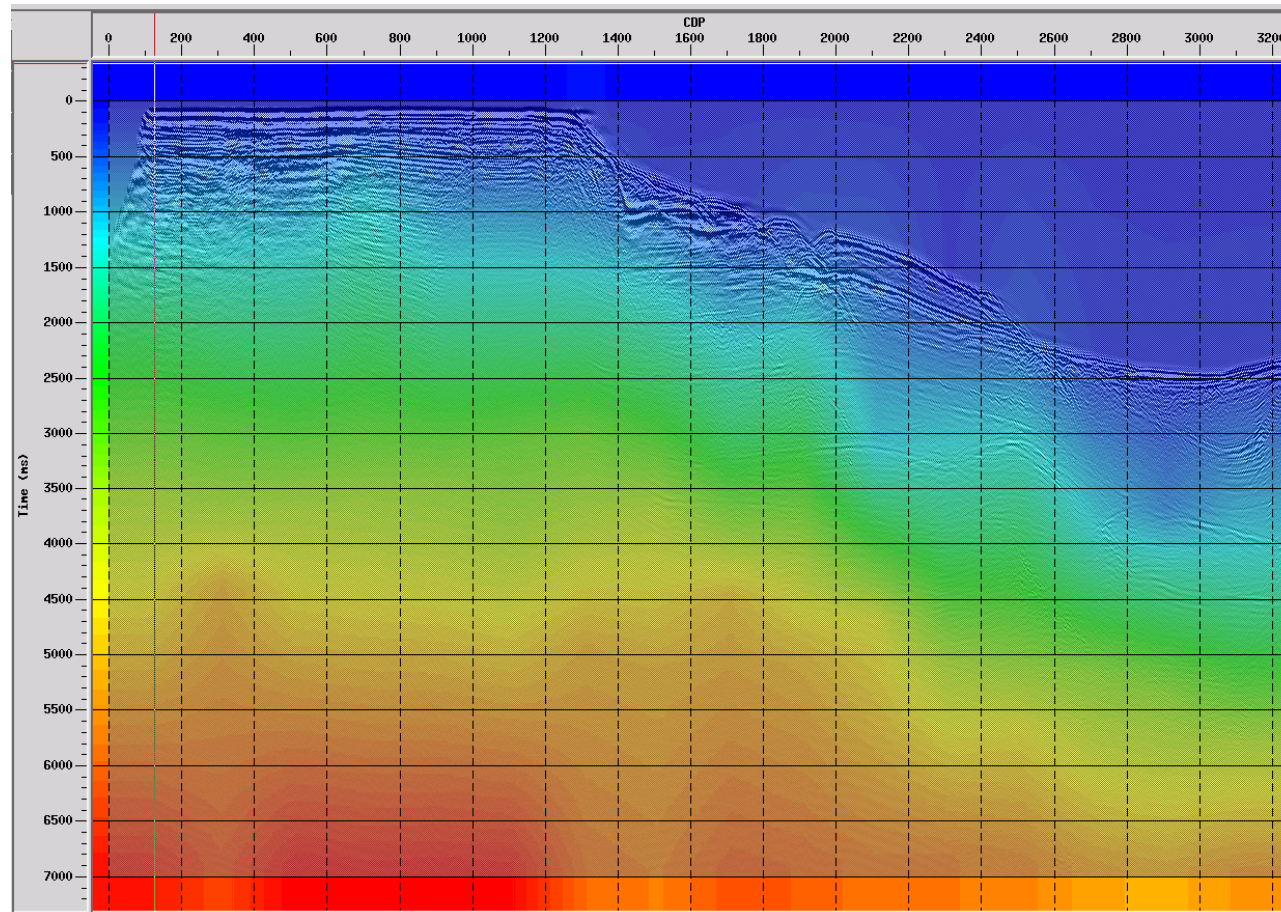


Figura 11 – Modelo de velocidade utilizado inicialmente para a migração pré-empilhamento em afastamento comum.
Gradiente de velocidade: 1480 m/s (azul) a 4000 m/s (vermelho)



Fonte: Do autor

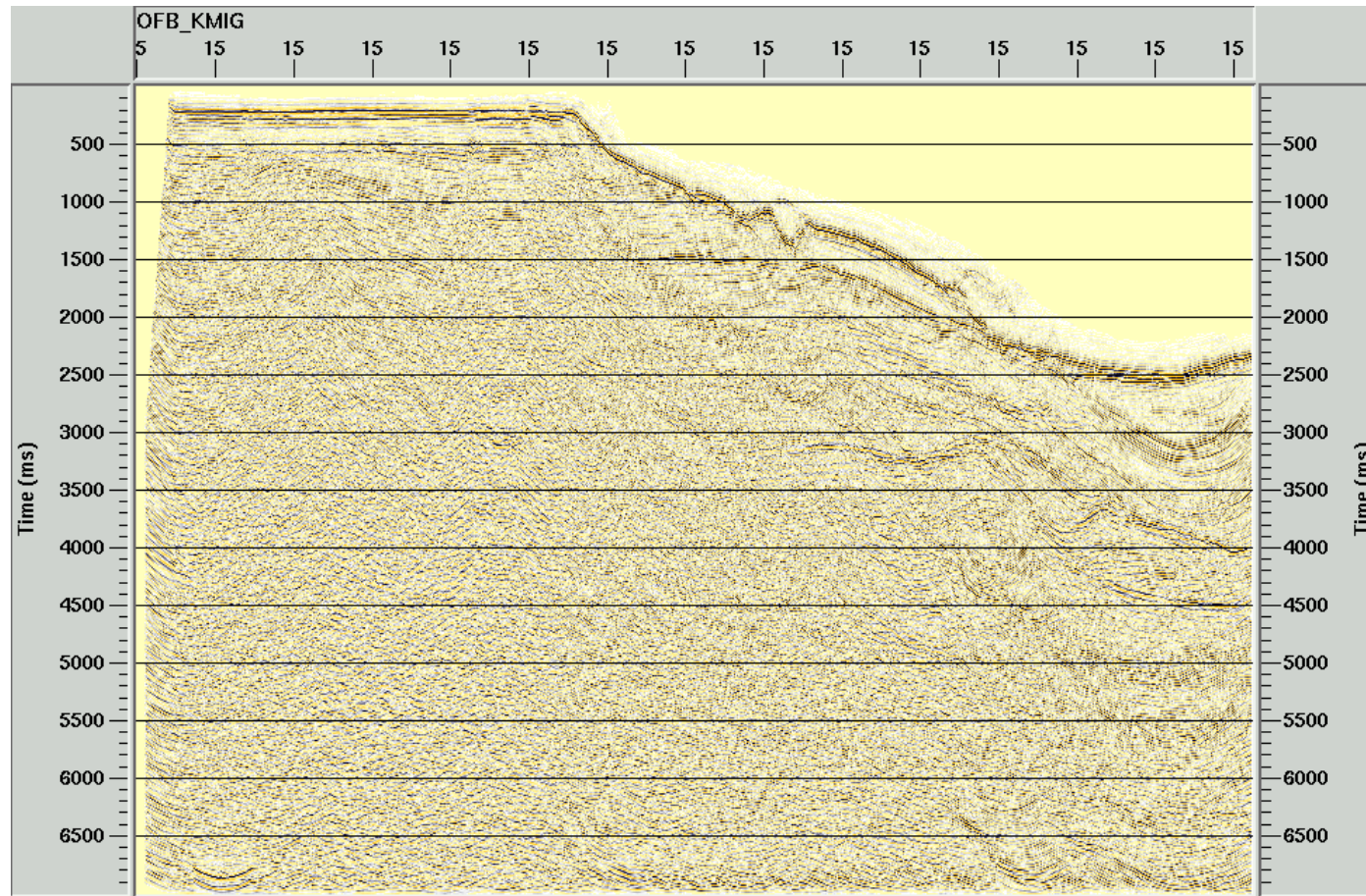
Com o modelo de velocidade, o dado pré-empilhado organizado em afastamento comum foi migrado.

Nas Figuras 12 e 13 são mostradas duas das 120 seções migradas pré-empilhamento. Na Figura 12, tem-se a seção migrada a partir dos dados em afastamento de 500 m. Na Figura 13, tem-se a seção migrada a partir dos dados em afastamento de 600 m.

A partir das seções migradas foram geradas as famílias de ponto-imagem comum (CIGs). Na Figura 14, os dados organizados nas CIGs. No fundo é mostrado o modelo de velocidade utilizado na migração. É visto ainda na Figura 14, que os eventos mais rasos (tempo de 0 à 2400 ms) estão encurvados evidenciando assim que há erros no modelo de velocidade utilizado na migração. Enquanto isso, verifica-se para tempos maiores a “horizontalização” das famílias CIGs.

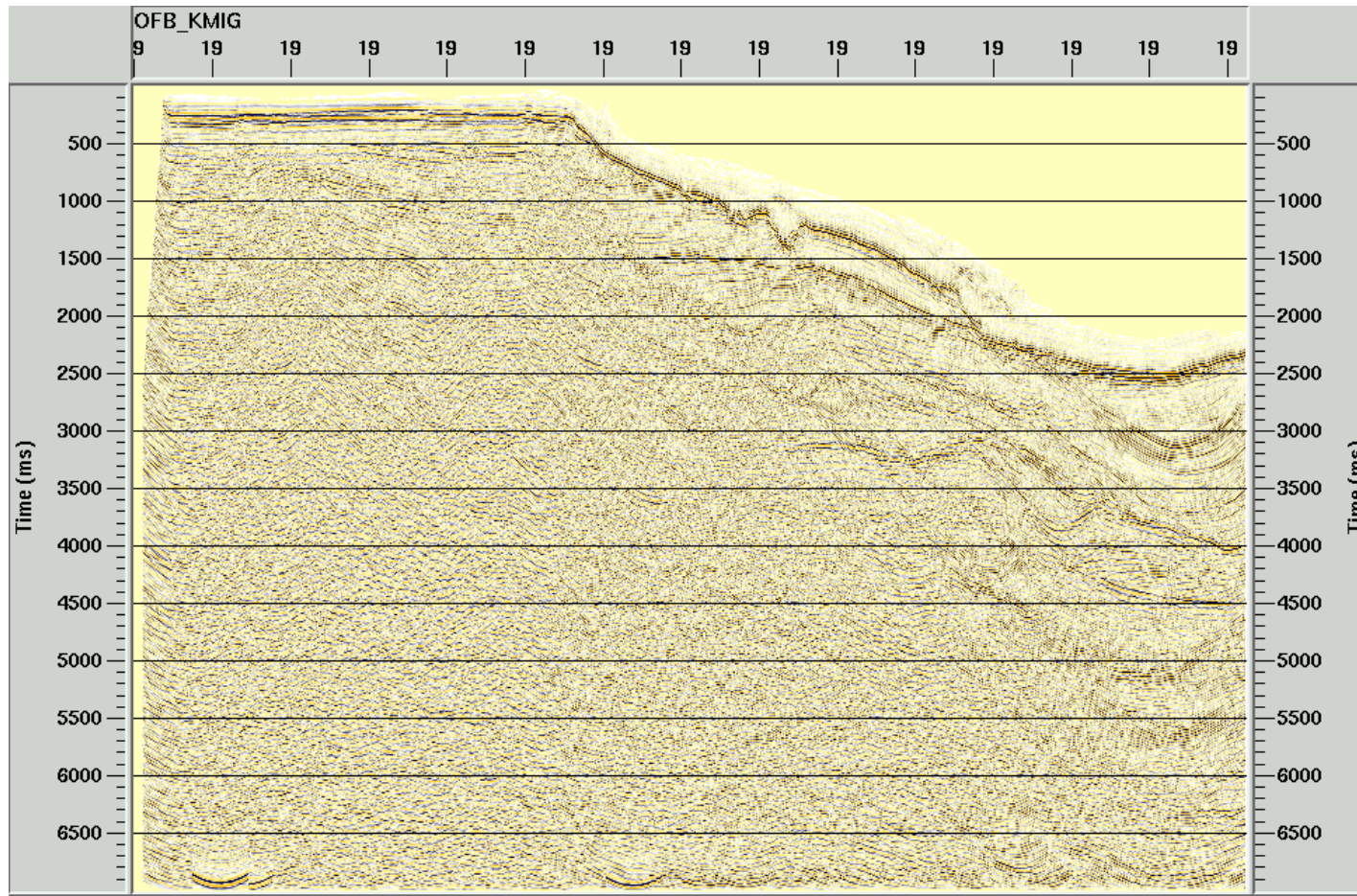
Na figura 15, são mostradas em detalhes quatro famílias CIGs da região mais profunda da linha 214-2660.

Figura 12 – Seção migrada pré-empilhamento em afastamento comum. Em evidência os receptores número 15 (afastados 500 metros da fonte).



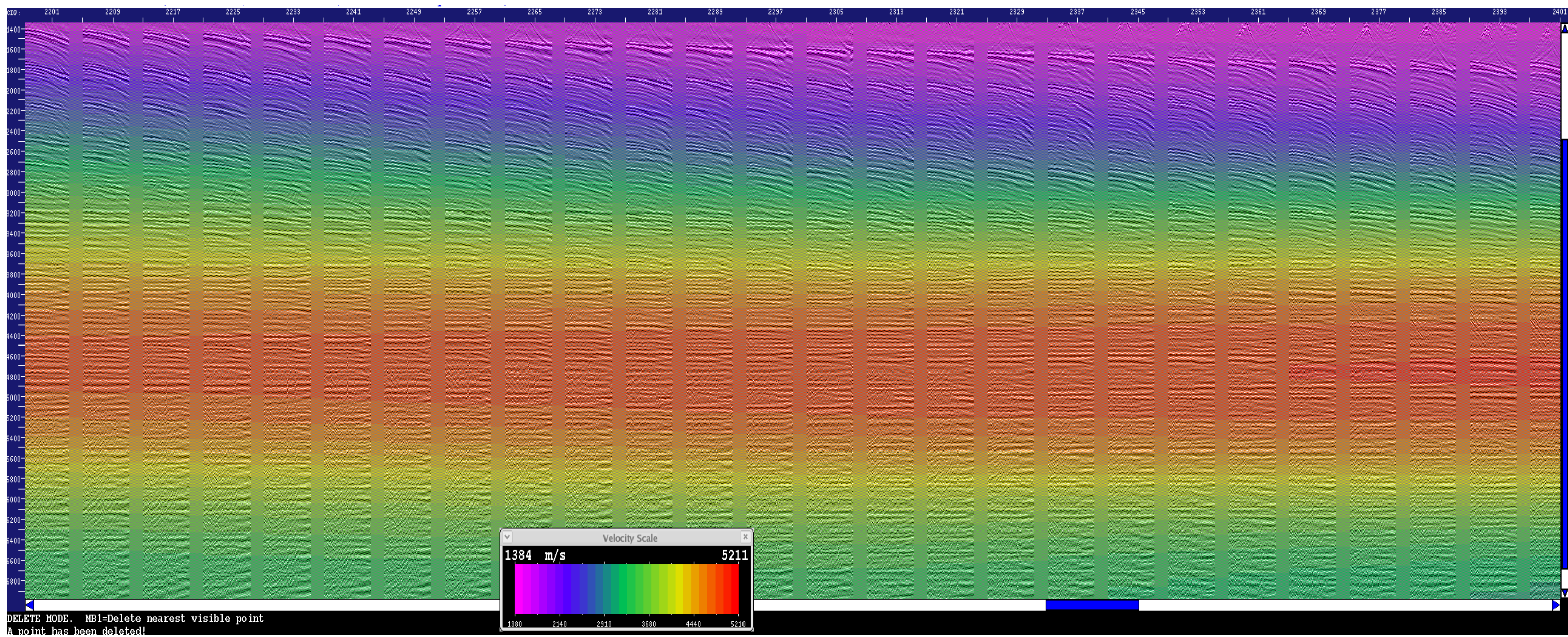
Fonte: Do autor

Figura 13 – Seção migrada pré-empilhamento em afastamento comum para os receptores de número 19 (afastados 600 metros da fonte).



Fonte: Do autor

Figura 14 – CIGs da parte profunda dos dados, juntamente com a escala de cores representando a velocidade do meio

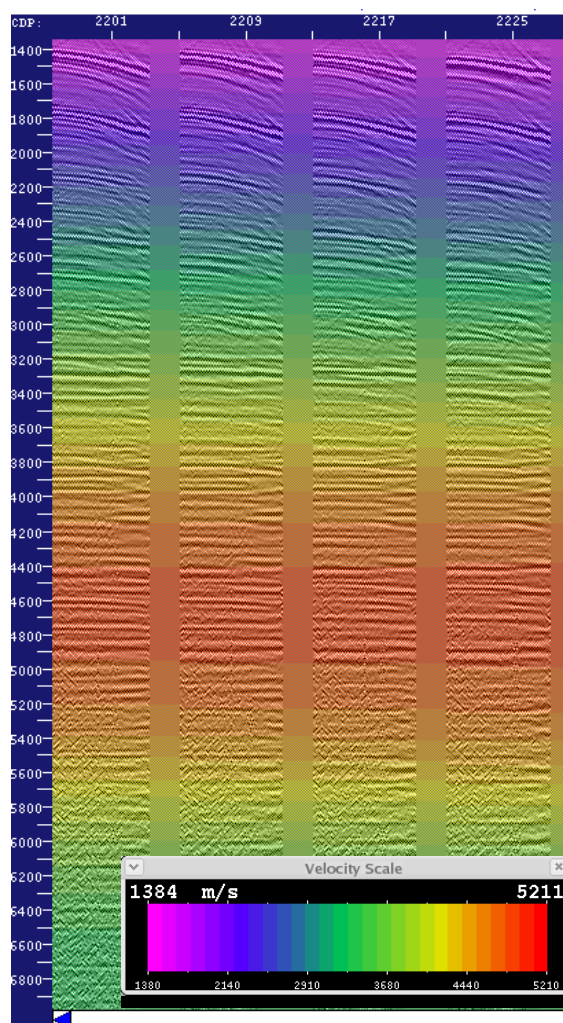


Fonte: Do autor

Para a edição do modelo de velocidade, na Figura 16, foi selecionada uma área através da interface do ProMAX (polígono branco) onde os valores de velocidade foram editados utilizando a função MVA (Migration Velocity Analysis) do mesmo programa. Através dessa função, o modelo de velocidade pode ser editado de várias formas (Figura 17).

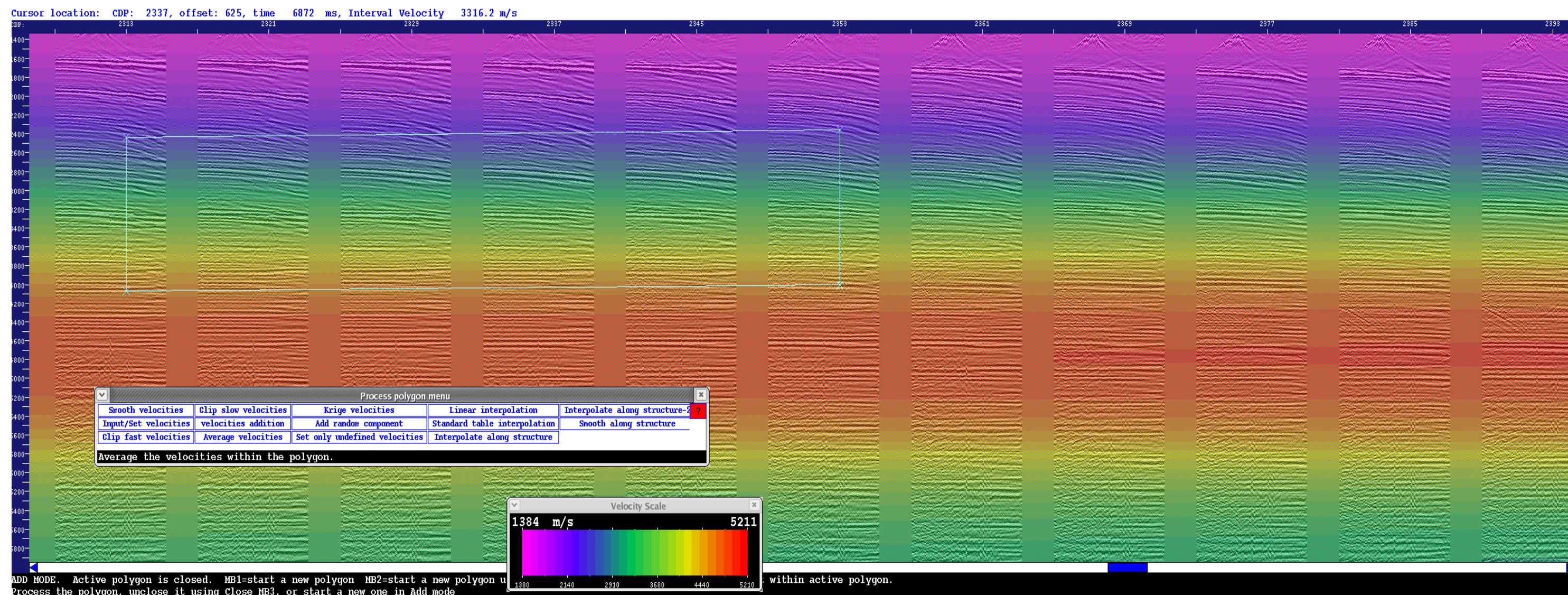
Assim, o modelo de velocidade de toda a linha foi editado através da determinação de polinômios, dentro dos quais a velocidade foi editada utilizando a opção que efetua a média das velocidades ao longo do respectivo polígono (Average Velocities).

Figura 15 – Zoom da área mais profunda denotando os CMPs 2201, 2209, 2217 e 2225 até 6800 ms. Notar a inclinação dos eventos, a qual não se encontra totalmente paralela em toda a extensão da área selecionada.



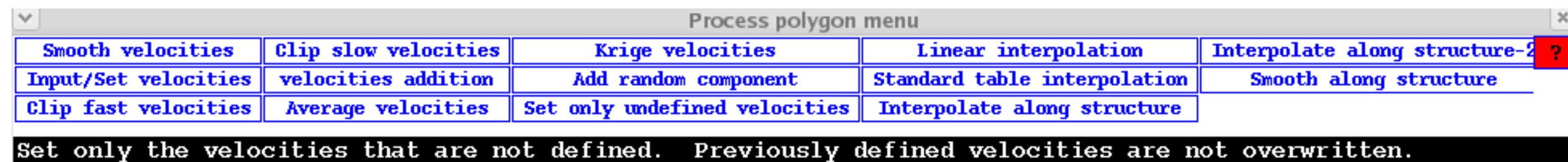
Fonte: Do autor

Figura 16 – Mesma figura anterior, em destaque o polígono selecionado onde a velocidade será manipulada.



Fonte: Captura de tela.

Figura 17 – Funções que podem ser utilizadas na manipulação do campo de velocidade. Neste trabalho foi usada a “Average Velocities” (média das velocidades).



Fonte: Captura de tela

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o modelo de velocidade editado, foi aplicada a migração pré-empilhamento (Figura 18). Comparando com o resultado de controle da migração pós empilhamento (utilizou-se a metodologia de Mendonça, 2009), verifica-se melhora significativa na resolução e realce do refletor em “A”. Além disso, na Figura 19, verifica-se uma série de artefatos (em “B”) que são gerados pela migração pós-empilhamento.

A parte rasa de ambos os dados mostraram-se semelhantes, sendo o principal diferencial fornecido pela análise de velocidade por migração a visualização mais nítida na parte profunda do dado processado.

Em situações concretas, a análise de velocidade por migração demanda mais tempo em relação ao processamento sísmico convencional, porém permite gerar uma imagem mais precisa e por conseguinte, uma interpretação mais acurada ao longo de todo o dado processado, sobretudo nos refletores situados em maiores profundidades. Para citar um exemplo real de refletores profundos, a recém-descoberta camada pré-sal (Formações, Barra Velha, Itanhaém e Piçarras da Bacia de Santos) está situada abaixo dos denominados reservatórios pós-sal, denotando a necessidade de imagens de porções mais profundas com o máximo de nitidez possível visando a correta interpretação e delineação das litologias constituintes.

Figura 18 – Seção migrada pré-empilhamento em tempo da linha 66, após as edições no modelo de velocidade segundo a metodologia proposta neste trabalho.

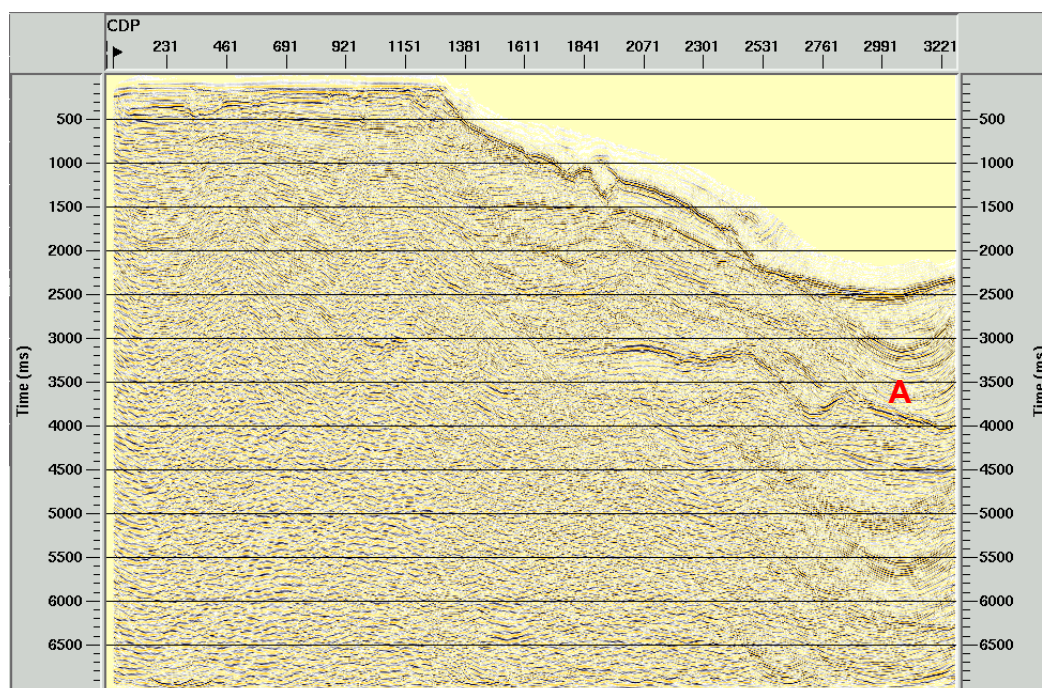
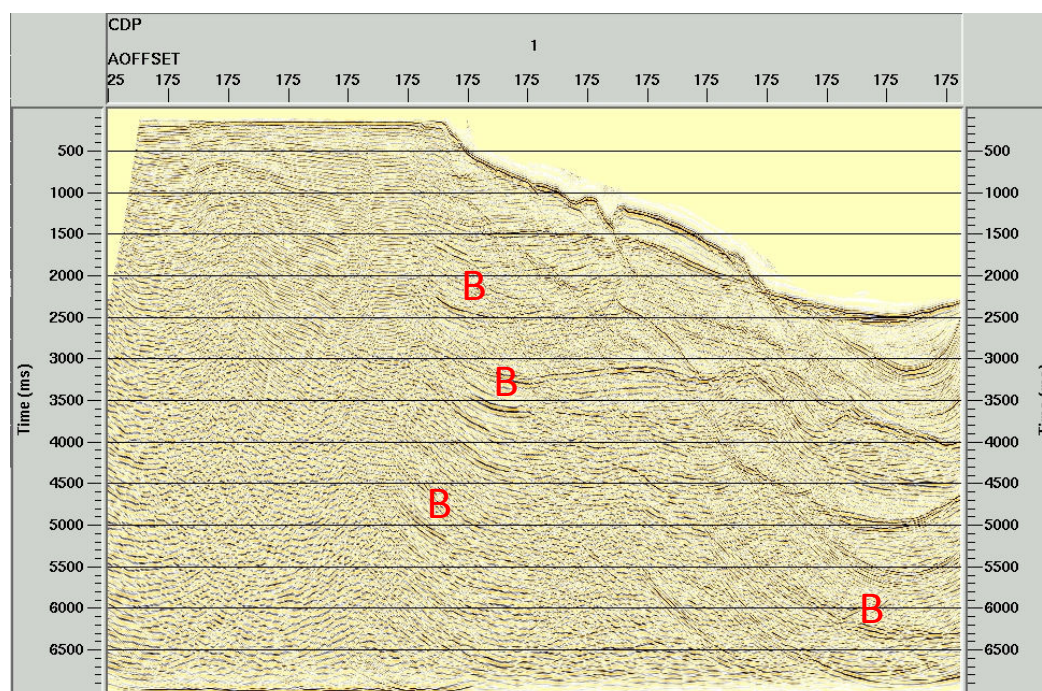


Figura 19 – Seção mostrando o resultado da migração pós-empilhamento convencional após a aplicação do SRME seguida do Radon (MENDONÇA 2009).



Fonte: Do autor

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho é aplicada a metodologia de análise de velocidade através de seções migradas a um dado real marinho 2D da bacia do Jequitinhonha.

A aplicação da metodologia apresentada é baseada na análise de velocidade por migração utilizando o procedimento manual para a otimização do modelo de velocidade no processamento de dados sísmicos, verificou que:

A seção migrada utilizando o modelo de velocidade editado apresenta melhora na resolução dos refletores.

Essa metodologia apresenta limitações devido ao fato da edição do modelo de velocidade ser executada manualmente, demandando tempo além de possuir subjetividade.

REFERÊNCIAS

BERKHOUT, A. J. **Seismic migration** – imaging of acoustic energy by wavefield extrapolation. [S.l.]: Elsevier Science Publ. Co., Inc., 1980.

BERRYHILL, J. R. Wave-equation datuming. **Geophysics**, n.44, p. 1329-1333. 1979.

BIONDI, B. **3D Seismic imaging**. [S.l.]: Society of Exploration Geophysicists, 2006. 383 p.

CLAERBOUT, J. F. **Imaging the earth's interior**. [S.l.]: Blackwell Scientific Publications, 1985.

_____; DOHERTY, S.M. Downward continuation of moveout-corrected seismograms. **Geophysics**, n. 37, p.741-768. 1972.

GAZDAG, J. Wave-equation migration by phase shift. **Geophysics**, n. 43, p.1342-1351. 1978.

LEGGOT, R. Time migration tomography. In: SOCIETY EXPLORATION GEOPHYSICISTS, 25., 2006, New Orleans. **Expanded Abstracts**. New Orleans: SEG, 2006. p. 3393–3397.

LOEWENTHAL, D.; LU, L.; ROBERSON, R.; SHERWOOD, J.W.C. The wave equation applied to migration. **Geophys. Prosp.**, n. 24, p.380-399. 1976.

MENDONÇA, R. N. A. **Atenuação de reflexões múltiplas em dados sísmicos reais utilizando a técnica de remoção de múltiplas relacionadas à superfície livre – SRME**, 2009. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) UFPA. Belém.

MILANI, E. J. et al. Introdução. **Boletim de. Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 183-205, maio/nov. 2007.

MOREIRA, J. L. P. et al. Bacia de Santos. **Boletim de. Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 531-549, maio/nov. 2007.

OLIVEIRA, A. G. de. **Uma análise de métodos de Supressão de múltiplas de superfície livre aplicados a um dado real**, 2011. 111f. Dissertação (mestrado em geofísica) – UFPA, IG, Pós-Graduação de Geofísica, Belém, 2011.

RANGEL, H. D. et al. Bacia do Jequitinhonha. **Boletim de. Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 475-483, maio/nov. 2007.

SCHNEIDER, W. Integral formulation for migration in two and three dimensions: **Geophysics**, v. 43, p.49-76. 1978.

STOLT, R. H.; BENSON, A.K. **Seismic migration: theory and practice**. [S.l.]: Geophysical Press, 1986.

TANER, M. T.; KOEHLER, F. **Wave-equation migration**. [S.l.]: Technical brochure, Seiscom-Delta, Inc., 1977.

_____. Migration by fourier transform. **Geophysics**, 43, 23-48. 1978.

TRINDADE, P. da T. **Tomografia aplicada à migração em tempo**. 2008. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geofísica) UFPA. Belém.

VERSCHUUR, D.J; BERKHOUT, A.J; WAPENAAR, C.P.A. Adaptive surface-related multiple elimination. **Geophysics**, v.57, n.9, p.1166–1177. Sep. 1992.

YILMAZ, O. **Prestack partial migration**. Ph.D. (thesis) - Stanford University, 1979.

ZHANG, L.; HUA, B.; CALANDRA, H. 3D Fourier finite difference anisotropic depth

migration. In: SEG TECHNICAL PROGRAM, 24., 2005, [S.I.]. **Expanded Abstracts**, [S.I.]: SEG, vol1, 1914–1917,2005.

ZHANG, Y.; ZHANG, G.; BLEISTEIN, N. True amplitude wave equation migration arising from true amplitude one-way wave equations. **Inverse Problems**, v. 19, p. 1113–1138. 2003